



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VÝROBA ROZETY MOTOCYKLU

MANUFACTURING OF THE MOTORCYCLE ROSETTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

František Radnický

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Řiháček, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **František Radnický**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Jan Řiháček, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba rozety motocyklu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh výroby řetězového ozubeného kola – rozety motocyklu. Předpokládá se výroba součásti technologií přesného střihání. Na tuto problematiku bude také zaměřena literární rešerše i výpočty potřebné pro návrh a kontrolu nástroje.

Cíle bakalářské práce:

- vypracování aktuální literární rešerše se zaměřením na technologii přesného střihání,
- zhodnocení možností výroby,
- návrh vhodné technologie a provedení technologických a kontrolních výpočtů,
- návrh nástroje společně s vyhotovením výkresů vybraných dílů.

Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. a Robert M CADDELL. Metal forming: mechanics and metallurgy. 4th ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011, xii, 331 s. ISBN 978-1-107-00452-8.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. Brno: Vysoké učení technické, 1992. ISBN 80-214-0401-9.

VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné střihání. Brno: Zbrojovka Brno, 1977, 88 s.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

RADNICKÝ František: Výroba rozety motocyklu.

Bakalářská práce je zaměřena na návrh vhodné technologie pro výrobu řetězového kola motocyklu, které je vyráběno z plechu 11 500 o tloušťce 6 mm. Výrobní série této součásti je stanovena na 100 000 kusů ročně. Před výběrem nejvhodnější technologie pro výrobu rozety bylo provedeno hodnocení možných způsobů výroby, z nichž je vybrána jako nejvhodnější metoda přesného stříhání s tlačnou hranou. Dále je zpracován návrh technologického i konstrukčního řešení, který zahrnuje volbu vhodného polotovaru, tabule plechu ($6 \times 2000 \times 4000$) mm, návrh střížného nástroje s příslušnou výkresovou dokumentací a volbu výrobního stroje, trojčinný hydraulický lis Feintool HFA 11000 plus. V konečné fázi je provedeno technicko-ekonomické hodnocení efektivnosti dané výroby.

Klíčová slova: Přesné stříhání, řetězové kolo, rozeta motocyklu, ocel 11 500, trojčinný hydraulický lis

ABSTRACT

RADNICKÝ František: Manufacturing of the motorcycle rosette.

This bachelor thesis is focused on design of suitable technology of motorcycle sprocket, made from sheet metal 11 500 with a thickness of 6 mm. The production series of this component is 100 000 pieces per year. Before selecting the most suitable technology for the production of rosette the evaluation of different available technologies was carried out, of which as the most appropriate method, the accurate cutting with pressing edge is selected. The technological and constructional solution is elaborated, which involves selecting of the appropriate blank (sheet metal $6 \times 2000 \times 4000$), design of cutting tool with its documentation and the choice of production machine triple-action hydraulic press Feintool HFA 11000 plus. In the final phase, a technical and economic evaluation of the efficiency of the production is performed.

Keywords: Fine blanking, chain gear, motorcycle rosette, steel 11 500, triple-action hydraulic press

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RADNICKÝ, František. *Výroba rozety motocyklu* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-19]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124295>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jan Řiháček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 19.6.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Janu Řiháčkovi, Ph.D za cenné připomínky a rady týkající se zpracování mé bakalářské práce. Dále děkuji své rodině, která mě podporovala po celou dobu studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD9

1 ROZBOR ZADÁNÍ10

1.1 Možné způsoby výroby..... 11

2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ14

2.1 Druhy metod přesného střihání..... 14

2.2 Přesné střihání s tlačnou hranou 17

2.2.1 Napětí v místě střihu..... 18

2.2.2 Síly působící při přesném střihání 18

2.2.3 Práce při přesném střihání 20

2.2.4 Střížná vůle a mezera..... 20

2.2.5 Rozměry, tvar a poloha tlačné hrany 21

2.2.6 Technologičnost..... 23

2.2.7 Vady na výstřižcích 26

3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY28

3.1 Velikost postranního odpadu a šířky můstku..... 29

3.2 Využití materiálu 30

3.3 Tlačná hrana..... 32

3.4 Střížná vůle 33

3.5 Síly a práce 33

3.6 Určení rozměrů střížníků a střížnic..... 34

3.7 Kontrola střížníku na vzpěr 37

3.8 Kontrola pevnosti střížníku..... 37

3.9 Kontrola střížníku na otlacení..... 38

3.10 Výpočet tlačných a vyřezávacích kolíků 38

3.11 Výška střížnice 39

3.12 Princip nástroje 40

3.13 Návrh lisu 41

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ42

4.1 Technické hodnocení 42

4.2 Ekonomické hodnocení 42

ZÁVĚRY45

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam výkresů

ÚVOD [1], [2], [3], [4]

V dnešní době je v průmyslu velmi striktně vyžadována kvalita výrobků. To, jak kvalitně dokáže daný podnik vyrobit požadovanou součást, může být výraznou konkurenční výhodou. Obecně lze strojírenské technologie sloužící k výrobě určitého produktu rozdělit na třískové obrábění, tváření a slévání. Všechny výše uvedené metody mají své výhody a nevýhody.

Technologie tváření je obecně rozdělena na dvě velké skupiny. Do první skupiny se řadí objemové tváření za tepla i za studena. Druhou skupinu tvoří plošné tváření. V tomto případě dochází k pohybu materiálu ve dvou směrech a řadí se sem stříhání, ohýbání a tažení.

Jedním z druhů výrobků, které se pomocí přesného stříhání vyrábějí jsou ozubená kola. Jedná se o jedny z tvarově nejsložitějších, ale také nejhojnější součástky, na které lze narazit v mechanických strojích. Tyto součástky jsou přitom nenahraditelné. Zároveň existuje velké množství typů těchto ozubených kol, podle druhu stroje, pro který jsou určena. Výroba těchto ozubených kol je specifická tím, že je požadována vysoká přesnost i kvalita výrobků, protože na často malé součástce stojí bezproblémový chod celého stroje. Příklady výrobků vyráběných pomocí metody přesného stříhání jsou zobrazeny na obr. 1.



Obr. 1 Příklady výrobků vyráběných metodou přesného stříhání [4]

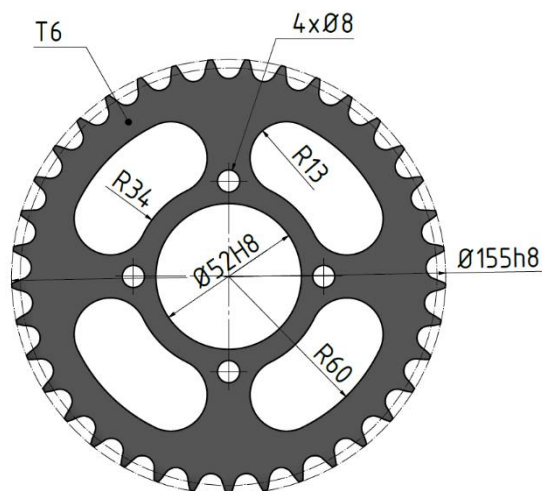
1 ROZBOR ZADÁNÍ [1], [2], [6], [28], [29]

Práce se věnuje návrhu výroby řetězového ozubeného kola – rozety motocyklu. Tato součástka bude vyráběna ve výrobní sérii 100 000 ks/rok. Součástí je využíváno k přenosu krouticího momentu z převodovky motocyklu na zadní kolo za pomoci řetězu. Rozeta přímo na motocyklu je zobrazena na obr. 2a.

Z hlediska stupně přesnosti, což je u ozubeného řetězového kola IT 8, lze součást běžně vyrobit. Vzhledem k tomu, že čelní plochy řetězového kola nejsou funkční, je proto možné použít i neopracovaný materiál. Hlavní předepsaný parametr je drsnost plochy zubů, kterou je zde nutno zajistit, aby jednotlivé segmenty válečkového řetězu správně zabíraly. Hodnota drsnosti byla zvolena $Ra = 0,4 \mu m$. Této hodnoty nelze obvyklými způsoby dosáhnout, a proto bude nutné zařadit některou z dokončovacích metod. Hlavní rozměry rozety jsou zobrazeny na obr. 2b.



a) detail na rozetu



b) hlavní rozměry rozety

Obr. 2 Rozeta motocyklu [6]

Jako materiál pro výrobu rozety je zvolena ocel ČSN 11 500. Jedná se o běžnou konstrukční ocel, která se dá použít na strojní součásti namáhané jak staticky, tak dynamicky, u nichž se nevyžaduje svařitelnost. Dále se také využívá u kovaných součástí tepelných energetických zařízení či u méně namáhaných nekalených ozubených kolech. Srovnání s jinými standardy označení zmíněné oceli je uvedeno v tab. 1. Chemické složení a základní mechanické vlastnosti uvádí tab. 2 a tab. 3.

Tab. 1 Orientační srovnání se zahraničními normami [29]

DIN	EN 10027-1	EN 10027-2
St 50-2	E295	1.0050

Tab. 2 Chemické složení oceli 11 500 v hm. % [28]

P	S	N
max. 0,045	max. 0,045	max. 0,009

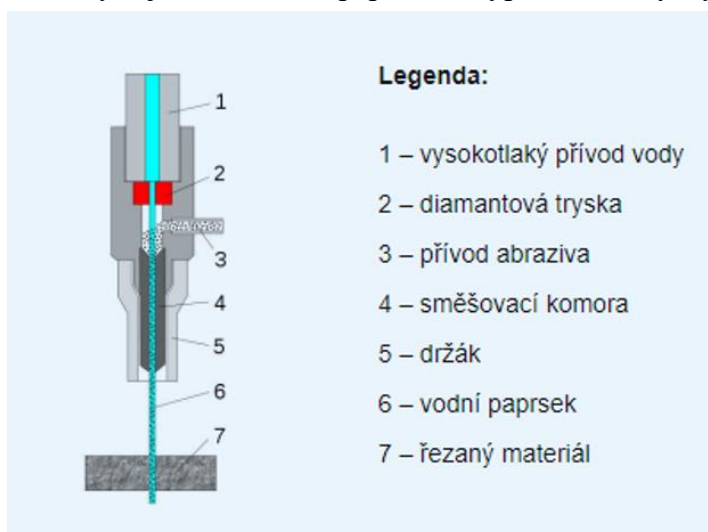
Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 11 500 [28]

Mez kluzu	R_e	[MPa]	275
Mez pevnosti	R_m	[MPa]	470 – 610
Tažnost	A	[%]	22

1.1 Možné způsoby výroby [1], [2], [5], [7], [8], [9], [11], [31]

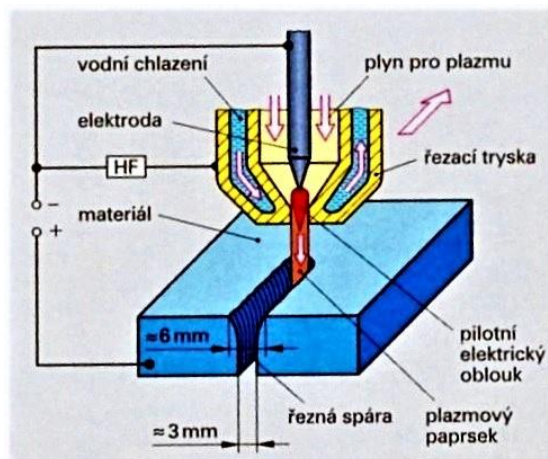
Při výběru vhodné technologie výroby rozety motocyklu se nabízí spousta možných variant. Nejnáročnější je přitom dodržet stanovenou toleranci ozubení. I malá nepřesnost může vést ve finálním výrobku k řadě problémům od zvýšené hlučnosti až po nefungování daného stroje, jehož je ozubené kolo součástí. V následující podkapitole budou stručně uvedeny možnosti výroby dané součástky. Není přitom rozlišováno, jestli se jedná o metodu konvenční či nekonvenční. Dále bude zhodnocena časová náročnost výroby z důvodu velikosti vyráběné série 100 000 ks ročně.

- Řezání vodním paprskem – je realizováno na základě rozrušování povrchové vrstvy materiálu a průniku řezného vodního paprsku hlouběji do materiálu (obr. 3). K vodnímu paprsku se může navíc přidávat abrazivo, které zvýší řeznou účinnost paprsku vody. K samotnému řezání pak dochází vlivem erozivního procesu. Rychlost řezného vodního paprsku je nadzvuková a tlak, pod kterým je tento vodní paprskem vypouštěn z trysky se pohybuje okolo 400 MPa. Za velkou výhodu této metody je považováno jen malé tepelné ovlivnění řezané součásti. Kvalita řezu je považována za velmi vysokou. Nevýhodou je nižší produktivita tohoto způsobu výroby a možný vznik koroze na řezané ploše. Před samotným řezáním je třeba nastavit průřez trysky, tlak vody a rovněž zvolit vhodné abrazivum. Tato metoda tak z tohoto pohledu není vhodná pro výrobu rozety.



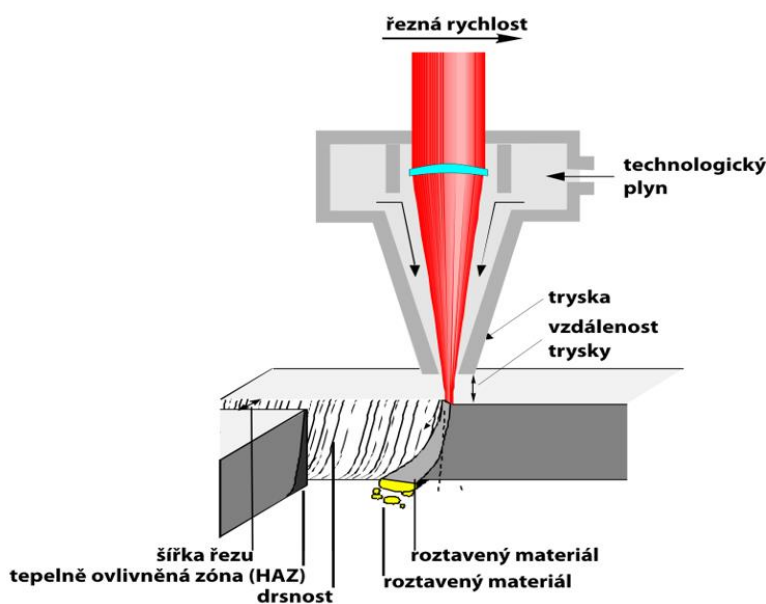
Obr. 3 Schéma řezání vodním paprskem [7]

- Řezání plazmovým paprskem – funguje na principu dynamického a tepelného účinku paprsku plazmy (obr. 4). Plazma je plyn, respektive jeho forma, která vzniká ionizací plynu při teplotách nad 20 000 °C, případně jako elektrický výboj mezi anodou a katodou. Při samotné výrobě je materiál plazmou taven a odfukován. Tento způsob výroby lze snadno automatizovat, protože řezná rychlost je velmi vysoká. Nevýhodou je velmi vysoká hluchost celého procesu výroby, a také omezení použití pouze na materiály, které jsou elektricky vodivé. Nicméně u současných používaných materiálů to nebývá problém. V tomto případě z důvodu nezajištění potřebné kvality řezu není tato metoda úplně nejvhodnější pro výrobu rozety.



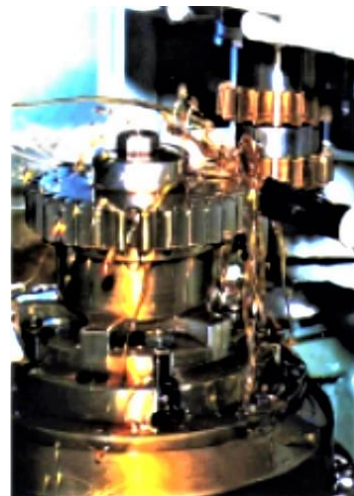
Obr. 4 Schéma řezání plazmou [8]

- Řezání laserovým paprskem – tuto metodu výroby ozubených kol lze označit za nejpreciznější. Má řadu dalších výhod, jako je výborná kvalita řezu a velmi vysoká rychlost řezu. Metoda funguje na základě přeměny světla na tepelnou energii (obr. 5). K této přeměně dochází pomocí jednotlivých součástí zařízení, jako je laserová hlavice, aktivní prostředí, soustava čoček, polopropustné zrcadlo, chladicí systém atd. Laserové řezání využívá monochromatického paprsku, který má velmi vysokou intenzitu na svém výstupu. Tento paprsek pak teplem taví povrch materiálu až nakonec projde skrz daným materiálem či polotovarem. Během tohoto procesu je také nutno zajistit odřuk materiálu z místa řezu pomocí řezného plynu. Jako nevýhodu tohoto způsobu lze zmínit to, že pomocí této metody lze řezat jen materiál omezené tloušťky. Například v případě konstrukční oceli se jedná o maximální tloušťku 25 mm a v případě hliníku to je 10 mm. Tyto hodnoty sice neplatí vždy, ale jsou považovány odbornou veřejností za standardní a doporučené. Při řezání výrobku o větší tloušťce dochází zejména k tomu, že se snižuje kvalita řezu. Z těchto důvodů není tato metoda vhodná pro výrobu rozety.



Obr. 5 Schéma řezání laserem [9]

- Obrážení hřebenovým a kotoučovým nožem – lze zařadit k možnému využití obrábění při výrobě zadané rozety. U prvního typu nože je nástroj nastaven na hloubku řezu a během řezného procesu vykonává přímočarý vratný pohyb. K dosažení odvalování koná obrobek otáčivý pohyb, přičemž je určena příslušná výška zdvihu. Mezi výhody obrážení hřebenovým nožem lze zařadit možnost výroby ozubených kol s libovolným počtem zubů, ale je nutno zajistit, aby měl nástroj shodný modul s budoucím vyráběným kolem. U druhého typu nože je možnost výroby čelního, šikmého i šípového ozubení. Nástroj vykonává přímočarý vratný pohyb ve směru osy, přičemž rotuje. Obrobek rotuje také, ale jejich otáčky nejsou shodné. U zpětného pohybu nástroj odskakuje, aby nedocházelo k odírání zubů. Při výrobě ozubených kol s velkým modulem je nutno obrobek nejdříve hrubovat. V porovnání těchto dvou metod je produktivnější obrážení kotoučovým nožem (obr. 6) než hřebenovým. Ani jedna z metod není vhodná kvůli časové náročnosti při výrobě zadané rozety motocyklu, a proto není pro danou výrobu zvolena.



Obr. 6 Obrážení kotoučovým nožem [31]

Výše jsou uvedeny některé z možných způsobů výroby řetězových ozubených kol. Je však potřeba pamatovat na to, že před samotným zahájením výroby je nutné zvážit pro jaký účel bude výrobek sloužit. Od toho se totiž bude odvíjet technologie výroby i použitý materiál. Cílem je samozřejmě vždy dosáhnout nejlepší kvality za nejnižší cenu.

Jako vhodný způsob výroby zadané rozety je vybrána technologie přesného stříhání s tlačnou hranou, která není zmíněná mezi těmito způsoby, jelikož ji bude věnována podrobná pozornost v následujících kapitolách.

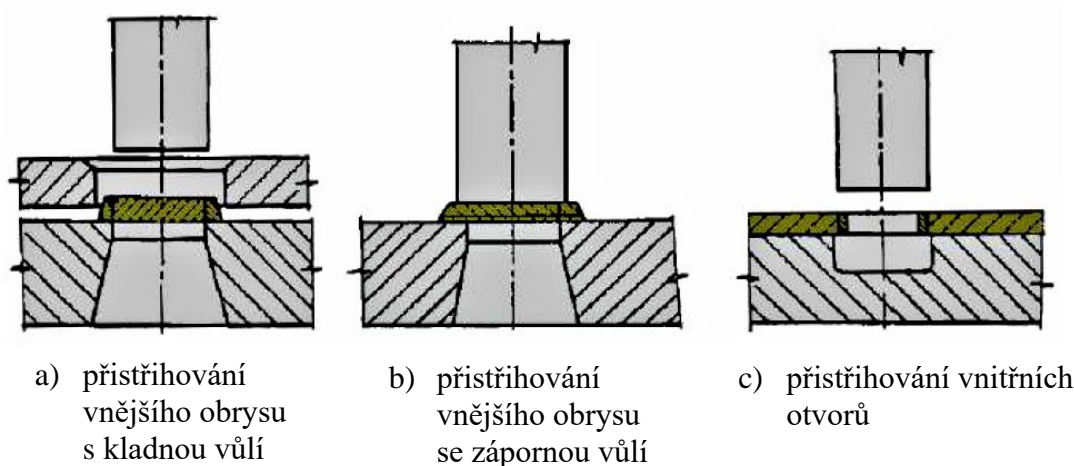
2 PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ [3], [10], [12]

Přesné stříhání je označení pro všechny metody stříhání, které zlepšují kvalitu výsledného produktu. Zejména dochází ke zlepšení jakosti povrchu střížné plochy a ke zpřesnění stříhaných rozměrů. Pomocí metod přesného stříhání lze dosáhnout kvalitní a hladké střížné plochy. Využití této technologie je užitečné zejména pro součástky, které se vyrábějí ve velkých sériích.

2.1 Druhy metod přesného stříhání [3], [5], [12], [13], [21]

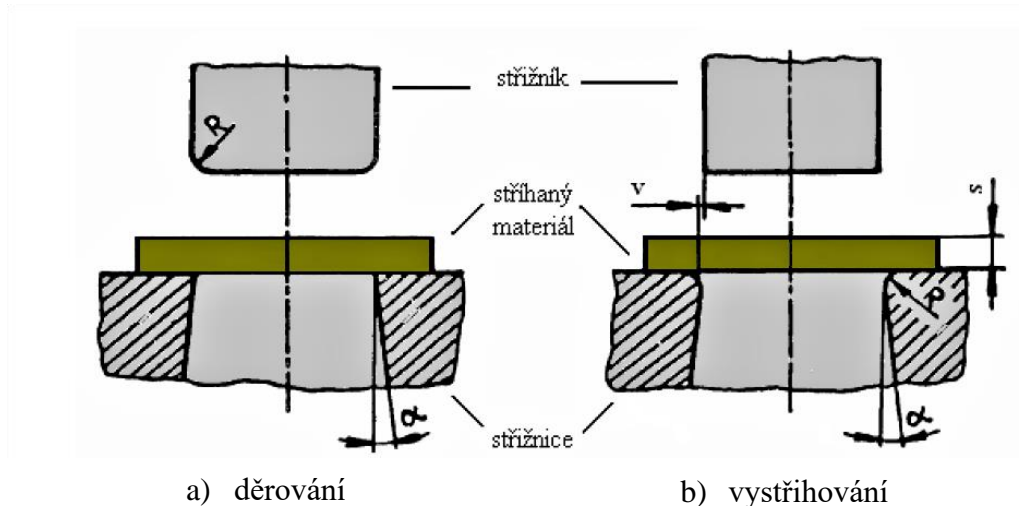
Přesnost rozměrů výstřižků, otvorů i jakost střížné plochy při běžném stříhání často nevyhovuje požadavkům výroby. Pro výrobu výstřižků s menšími tolerancemi a kvalitní střížnou plochou se používá technologie přesného stříhání. Rozeznává se několik druhů přesného stříhání. Tyto druhy jsou popsány níže.

- Přistřižování – principem je oddělování malého množství kovu ze střížné plochy. V první operaci se vystříhne výstřižek v běžném střížném nástroji s přídavkem na přistřižování. V další operaci se odstříhne tento přídavek v přistřižovacím nástroji. Podle konstrukce funkčních částí lze přistřižnout s kladnou či zápornou vůlí. Při přistřižování se musí dbát na to, aby byl směr přistřižování shodný s předchozím stříháním. To znamená, že tříska se musí začít stříhat na straně největšího přídavku, jinak hrozí předčasné vylomení. Pro přistřižování se používá obvykle jedna operace. Výjimečně se při hrubších součástkách přistupuje k několika operacím. Kvalitnější plocha vzniká při přistřižování se zápornou vůlí. Střížník v poslední fázi stříhu podpírá oddělovaný materiál a tím zamezuje předčasnému vytržení materiálu. Výstřižek není otvorem střížnice prolisován najednou, ale až v následujícím zdvihu dalším polotovarem. Mezera mezi čelem střížníku a čelem střížnice v dolní úvrati bývá 1 až 2,5 násobek tloušťky přídavku na přistřižení, min. 0,1 až 0,2 mm. Větších přesností se dosahuje u tvrdších materiálů. Měkké materiály jsou náchylné k vytrhávání. Dosažitelná drsnost střížných ploch u vhodných materiálů bývá v rozsahu $Ra = 0,6$ až $1,6 \mu m$. Způsoby přistřižování jsou zobrazeny na obr. 7.



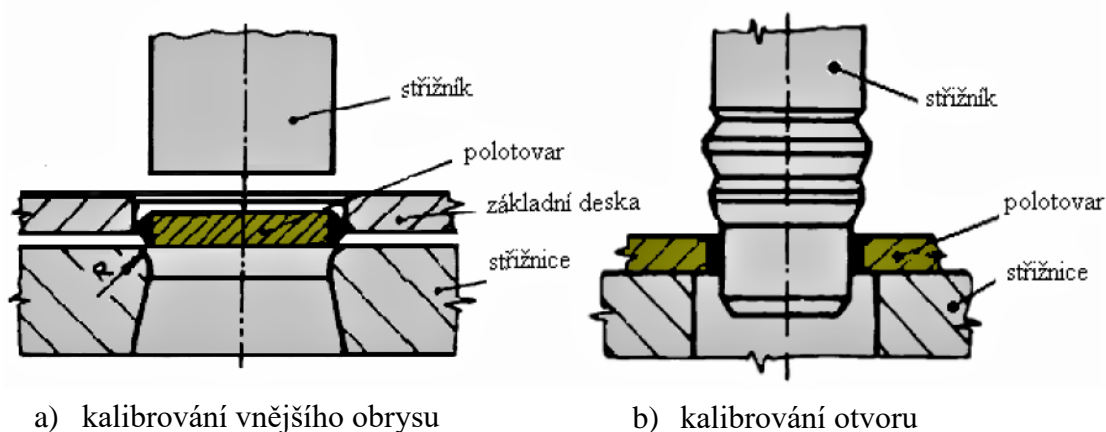
Obr. 7 Způsoby přistřižování [12]

- Stříhání se zaoblenou hranou – při stříhání se zaoblenou hranou je vyhlazována střížná plocha zaoblením ostří střížnice nebo střížníku. Zaoblené hrany střížnice způsobí vysokou kvalitu vnějšího obrysu, a naopak zaoblené hrany střížníku zase kvalitu obrysu vnitřního. Zaoblení nástrojů se volí minimální. Velké zaoblení zvětšuje průhyb výstřižku a podporuje tvoření otřepů. Doporučené zaoblení je $R = 0,2 \cdot s$. Menší zaoblení se volí v místech s úzkými stěnami nebo výčnělky v obrysu stříhu. Střížná vůle se doporučuje 0,01 až 0,025 mm. Nástroj musí dokonale zajišťovat vzájemnou polohu střížníku a střížnice. Střížná síla je asi o 20 % větší než při jednoduchém stříhání. Materiály vhodné pro tento způsob stříhání musí mít dobrou tvárnost. Přesnost výstřižků bývá IT 9 až IT 11. Drsnost střížných ploch je $R_a = 0,4$ až $0,8 \mu\text{m}$. Schéma stříhání se zaoblenou hranou je zobrazeno na obr. 8.



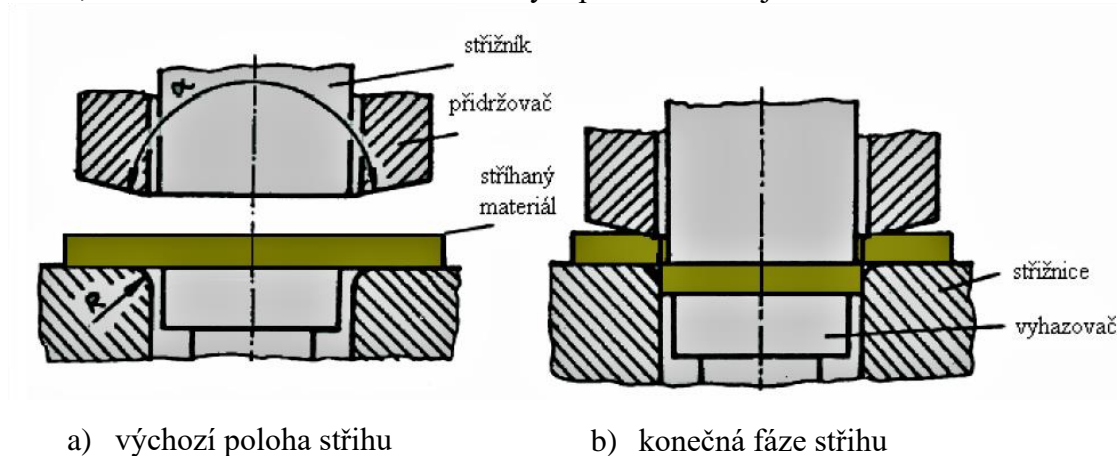
Obr. 8 Stříhání se zaoblenou hranou [12]

- Kalibrování – jedná se o metodu zlepšení rozměrové přesnosti a kvality povrchu. Výstřižek je při venkovních površích protlačován zaoblenou střížnicí. Při vnitřních površích je otvorem protlačovaný trn. Kalibrování je méně přesné než přistříhování a vyžaduje vyšší síly. Povrch součástek je však zpevněn a bez nerovností. Schéma kalibrování je zobrazeno na obr. 9.



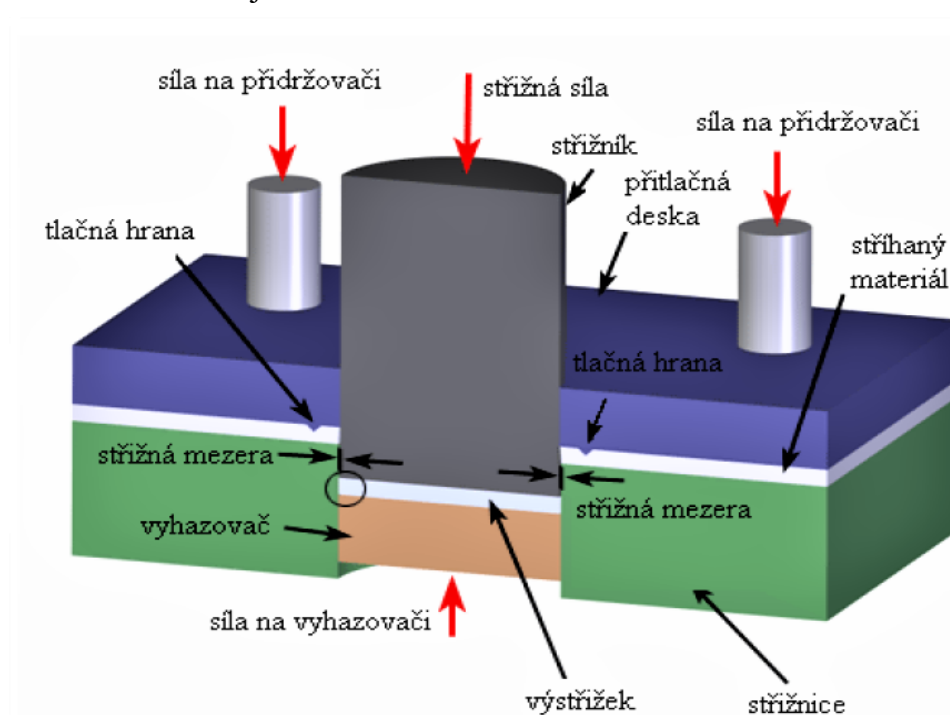
Obr. 9 Schéma kalibrování [12]

- Stříhání se zkoseným přidržovačem – jedná se o méně používanou metodu přesného stříhání. Princip je takový, že zkosený přidržovač vyvolá dvouosý stav napjatosti. Přidržovač má přitom vrcholový úhel $\alpha = 178^\circ 30'$, při poloměru zaoblení střížné hrany $R \leq 0,01$ mm. Schéma stříhání se zkoseným přidržovačem je zobrazeno na obr. 10.



Obr. 10 Schéma stříhání se zkoseným přidržovačem [12]

- Přesné stříhání s tlačnou hranou – při stříhání s tlačnou hranou je stříhaný materiál v počáteční fázi stlačen mezi přidržovačem, střížnicí, střížníky a vyhazovačem, a následně je tlačná hrana vtlačena do materiálu ještě před vlastním stříhem. Materiál se při vystřihování neprohýbá a radiální složka tečení je zachycována tlačnou hranou. Vlivem tlakových napětí se pásmo plastického stříhu rozšiřuje přes celou tloušťku materiálu. Lisy pro přesné stříhání s tlačnou hranou jsou speciální lisy se samostatným ovládáním všech tří hlavních pohybů. Drsnost střížné plochy odpovídá $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$ a je dosahována rozměrová přesnost ve stupni IT 6 až IT 9. Schéma přesného stříhání s tlačnou hranou je zobrazeno na obr. 11.

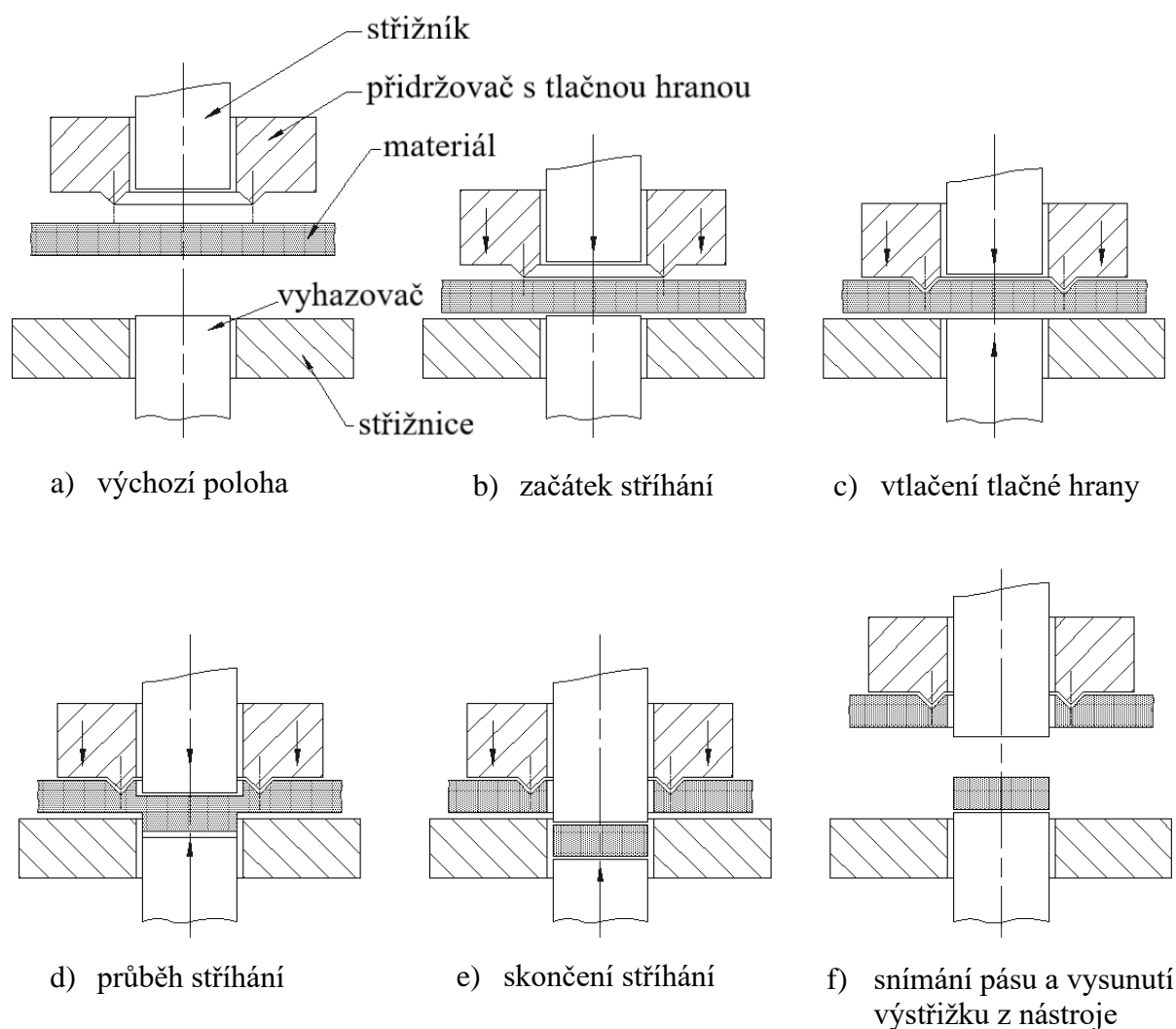


Obr. 11 Schéma přesného stříhání s tlačnou hranou [13]

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na výrobu rozety motocyklu metodou přesného stříhání s tlačnou hranou, která bude dále podrobněji rozebrána.

2.2 Přesné stříhání s tlačnou hranou [5], [14], [15], [16], [17]

Postup stříhání u této metody je takový, že tlačná hrana je před samotným stříhem vtlačena do stříhaného materiálu tak, že stříhaný materiál po obou stranách svírá křivky stříhu. Materiál je pak uvnitř křivky stříhu sevřený mezi střížníkem a vyhazovačem, a vně křivky stříhu je pak sevřený mezi přídržovačem s tlačnou hranou a střížnicí. Během tohoto procesu stříhání je střížník vtlačován do materiálu a proti jeho pohybu naopak působí vyhazovač. Následně je stříh dokončen a daná součástka je ve střížnici. Poté dojde k rozevření pracovního nástroje a daný výstřížek je uvolněn. Celý proces je zobrazen na obr. 12.

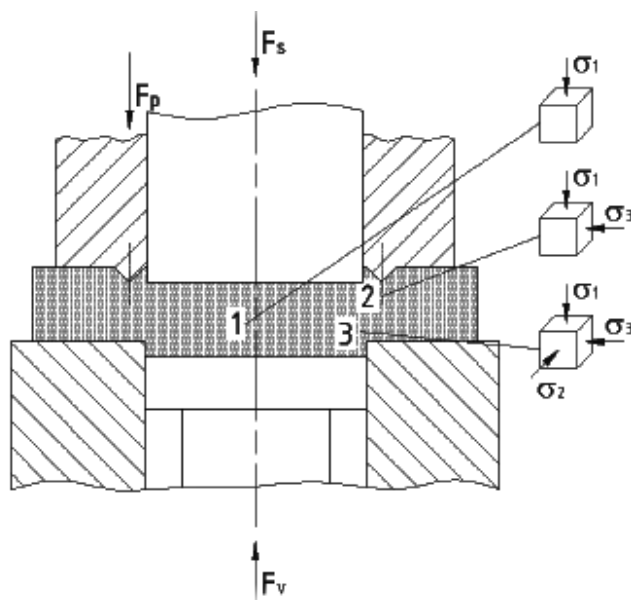


Obr. 12 Postup přesného stříhání s tlačnou hranou [17]

Mezi výhody této metody patří zejména to, že je dosaženo vysoké kvality povrchu, lepší kolmosti stříhaných ploch vůči klasickému stříhání a v materiálu se netvoří trhliny.

2.2.1 Napětí v místě stříhu [12], [14], [15], [18]

Při stříhání metodou s tlačnou hranou dochází k tomu, že je vytvořeno tlakové napětí $\Delta\sigma_3$. To má za následek změnu napjatosti uzavřeného stříhu. V důsledku toho dojde k vytvoření záporného normálového napětí $-\sigma_n$, čímž dojde k uzavření vznikajících trhlin v materiálu. Schéma napjatosti při přesném stříhání je zobrazeno na obr. 13.

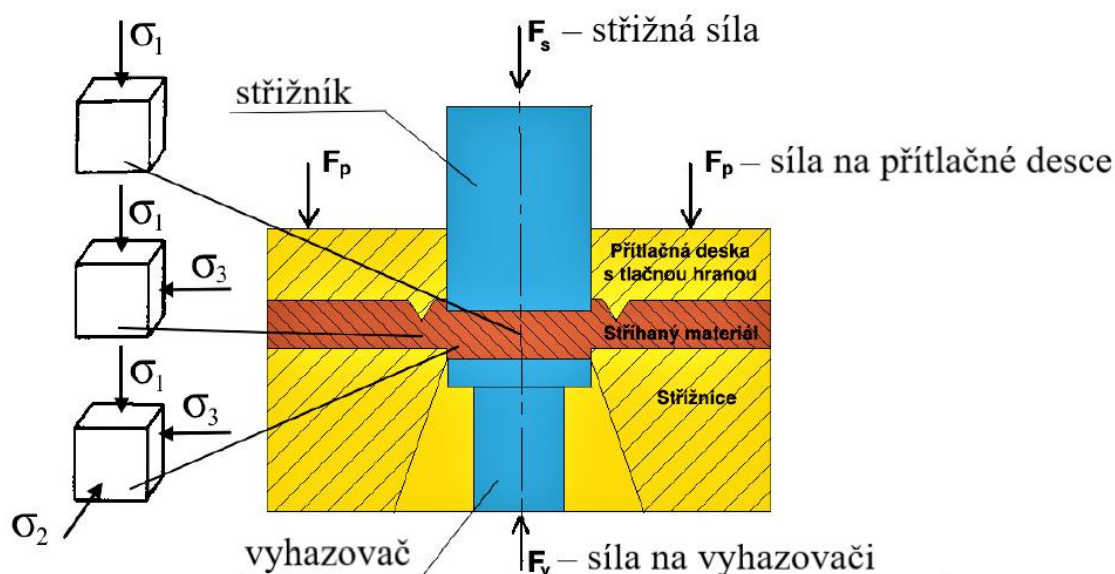


Jak ukazuje obrázek vlevo, při tomto druhu stříhání vznikají tři oblasti napjatosti (na obr. 13 jsou to čísla 1–3). Z obrázku také vyplývá, že rozložení hlavních napětí je nejvýhodnější zejména v oblasti stříhu (bod 3 na obrázku výše). Právě v tomto místě vzniká trojosá tlaková napjatost a všestranný tlak podporuje průběh čistě plastického stříhu. Vytvoří se tak přijatelný stav napjatosti ve stříhaném materiálu a tím dojde k zabránění tvoření trhlinek.

Obr. 13 Schéma napjatosti při přesném stříhání [18]

2.2.2 Síly působící při přesném stříhání [10], [14], [15], [19], [20]

K přesnému stříhání jsou využívány speciální trojčinné lisy. Pouze tyto lisy totiž umožňují dokonale sladit pohyb jednotlivých částí nástroje. Je přitom nutné pamatovat na síly, které jsou vyvozovány jednotlivými funkčními nástroji, jako je střížník, vyhazovač a přitlačná deska. Tyto jednotlivé síly je nutné nastavit. Toto nastavení musí odpovídat tvaru, tloušťce a druhu stříhaného materiálu. Působící síly jsou zobrazeny na obr. 14.



Obr. 14 Síly působící při přesném stříhání s tlačnou hranou [20]

Matematicky je pak možné jednotlivé síly vyjádřit následovně:

- Celková síla, která je významná pro volbu typu lisu, je dána vztahem:

$$F_C = F_S + F_P + F_V \text{ [N]}, \quad (2.1)$$

kde: F_C – celková síla [N],
 F_S – střižná síla [N],
 F_P – přítlačná síly [N],
 F_V – síla vyhazovače [N].

- Síla, kterou vykoná střižník je dána vztahem:

$$F_S = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_S = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m \text{ [N]}, \quad (2.2)$$

kde: n – součinitel otupení nože, ($n = 1,2 \div 1,5$) [-],
 l – délka stříhu [mm],
 s – tloušťka materiálu [mm],
 τ_S – střižný odpor [MPa],
 R_m – mez pevnosti [MPa].

- Síla na přítlačné desce zatlačuje hranu materiálu před samotným stříhem a je určena vztahem:

$$F_P = k_m \cdot L_h \cdot h \cong 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h \text{ [N]}, \quad (2.3)$$

kde: k_m – odpor materiálu proti vtlačení tlačné hrany [MPa],
 L_h – délka tlačné hrany [mm],
 h – výška tlačné hrany [mm].

- Síla na vyhazovači svírá společně se střižnou silou materiál uvnitř křivky stříhu. Měrný tlak, jež působí na střižník nabývá hodnot 30 až 70 MPa. Aby došlo k ustřižení součásti, je nutné, aby síla přidržovače byla menší než střižná síla. Síla vyhazovače je dána vztahem:

$$F_V = S_v \cdot p \text{ [N]}, \quad (2.4)$$

kde: S_v – plocha výstřižku [mm²],
 p – měrný tlak [MPa].

2.2.3 Práce při přesném stříhání [3], [5], [12]

- Celková práce, která je potřebná pro vystřížení dané součástky z materiálu a je určena vztahem:

$$A_C = A_S + A_P + A_V \quad [\text{J}], \quad (2.5)$$

kde: A_C – celková práce [J],
 A_S – střižná práce [J],
 A_P – práce přidržovače [J],
 A_V – práce vyhazovače [J].

- Střižná práce je dána vztahem:

$$A_S = \frac{0,48 \cdot L_h \cdot R_m \cdot s}{1000} \quad [\text{J}]. \quad (2.6)$$

- Práce přidržovače je dána vztahem:

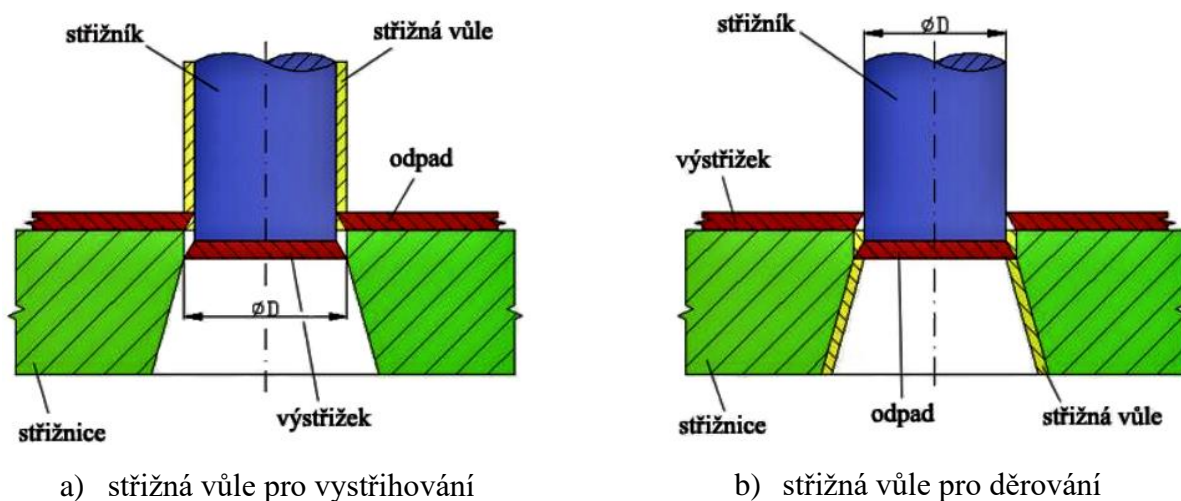
$$A_P = \frac{2 \cdot h^2 \cdot R_m \cdot L_h}{1000} \quad [\text{J}]. \quad (2.7)$$

- Práce vyhazovače je dána vztahem:

$$A_V = \frac{S_v \cdot p \cdot s}{1000} \quad [\text{J}]. \quad (2.8)$$

2.2.4 Střižná vůle a mezera [3], [5], [14], [21], [22]

Střižnou vůli je možno definovat jako rozdíl mezi rozměrem daného střižníku a rozměrem střižnice. Vůle se pak stanovuje podle tvaru vyráběného výstřížku. Polovinou střižné vůle je pak střižná mezera, která musí být pro správné stříhání po obou stranách stejná. Pokud je cílem stříhání vnějšího obrysu, pak je střižná vůle volena na úkor rozměru střižníku čili jeho zmenšením, viz obr. 15a. V opačném případě, tedy při stříhání vnitřního obrysu dochází k tomu, že je střižná vůle dosaženo zvětšením rozměru střižnice, viz obr. 15b.



Obr. 15 Schéma střižné vůle [22]

Velikost střížné vůle je samozřejmě nastavována na základě druhu a tloušťky materiálu, který je stříhán. Obecně se tato vůle pohybuje v rozmezí 3 až 10 % ze stříhaného materiálu. Existují dvě možnosti určení střížné vůle. První je orientační a je prováděna pomocí tabulek (tab. 4), druhý způsob je přesnější, kdy se tato vůle stanovuje na základě výpočtu.

Tab. 4 Stanovení střížné vůle [14]

Druh materiálu	Střížná vůle [%s]	
	do 2,5 mm	2,5 až 6 mm
Ocel měkká	5	7 až 8
Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10

- Stanovení střížné vůle výpočtem:

$$v = 2 \cdot z \quad [\text{mm}], \quad (2.9)$$

kde: v – střížná vůle [mm],
 z – střížná mezera [mm].

- Výpočet v pro plechy s tloušťkou do 3 mm:

$$v = 2 \cdot z = 0,32 \cdot c_m \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}], \quad (2.10)$$

kde: c_m – součinitel závislý na druhu stříhání [-],
 (pro přesné stříhání = $7 \cdot 10^{-4}$).

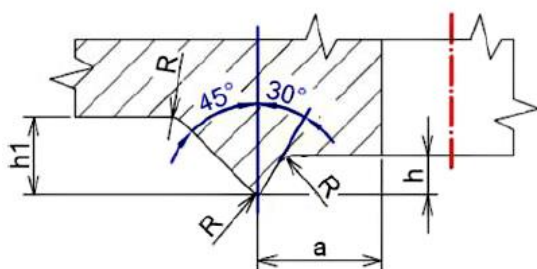
- Výpočet v pro plechy s tloušťkou nad 3 mm:

$$v = 2 \cdot z = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c_m \cdot s - 0,0015) \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}]. \quad (2.11)$$

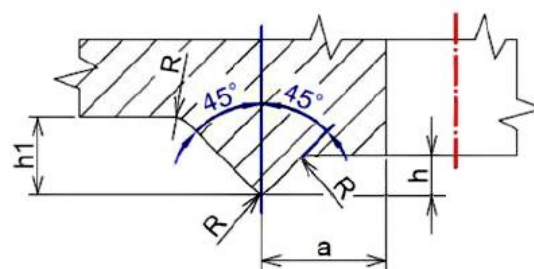
2.2.5 Rozměry, tvar a poloha tlačné hrany [3], [5], [14], [23], [24]

Navržení tlačné hrany lze považovat za klíčový proces přesného stříhání. Při tomto návrhu je třeba brát v úvahu všechny možné parametry, které mohou proces stříhání a v neposlední řadě i životnost střížné hrany ovlivnit. Tyto důležité parametry jsou: rozměr, tvar a poloha tlačné hrany.

Rozměry tlačné hrany se odvíjí opět od druhu materiálu a jeho vlastností. Nejdůležitější je tloušťka materiálu. Určení velikosti tlačné hrany je opět možné provést dvojím způsobem. Méně přesné je odhadnutí těchto rozměrů na základě odborných tabulek (tab. 5) a druhým způsobem je přesné určení výpočtem pomocí vzorců. Schéma rozměrů a tvaru tlačné hrany je uvedeno na obr. 16.



a) plechy o tloušťce $s \leq 4$ mm



b) plechy o tloušťce $s > 4$ mm

Obr. 16 Rozměry a tvar tlačné hrany [14]

Tab. 5 Hodnoty rozměrů tlačné hrany [24]

Tloušťka materiálu [mm]	a [mm]	h [mm]	h ₁ [mm]	R [mm]
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04
0,8	0,6	0,25	0,3	0,05
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06
1,2	0,8	0,3	0,35	0,06
1,5	1,0	0,35	0,4	0,07
1,8	1,2	0,4	0,45	0,08
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08

➤ Výpočty výšky tlačné hrany:

- Těžce tvárný materiál:

$$h = \frac{1}{6} \cdot s \quad [\text{mm}]. \quad (2.12)$$

- Lehce tvárný materiál:

$$h = \frac{1}{3} \cdot s \quad [\text{mm}]. \quad (2.13)$$

➤ Výpočet vzdálenosti tlačné hrany od křivky stříhu:

$$a = (0,6 \div 1,2) \cdot h \quad [\text{mm}], \quad (2.14)$$

kde: a – vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu [mm].

➤ Výpočet odlehčení za tlačnou hranou:

$$h_1 = h + 0,05 \quad [\text{mm}], \quad (2.15)$$

kde: h₁ – výška odlehčení za tlačnou hranou [mm].

Tlačná hrana sleduje při stříhu tvar výstřížku. Pokud má výstřížek vyčnívající části, tyto části se hůře stříhají. Nejjednodušší je navrhnout průběh tlačné hrany podle tvaru a zaoblení obrysu výstřížku. Jestliže má finální výstřížek úzké zářezy, které jsou specifické malým poměrem šířky tohoto zářezu k tloušťce stříhaného materiálu, potom je tlačná hrana v takovém případě umístěna kolem ústí zářezu. Pokud je však šířka zářezu menší nebo rovna hodnotě $15 \cdot h$, poté tlačná hrana přesně nekopíruje křivku stříhu.

Je zároveň nutné pamatovat na to, že velká střížná hlava, která má od křivky stříhu velký odstup, může být stejně funkční a lze s ní dosáhnout stejných výsledků, jako se střížnou hlavou s malou tlačnou hranou, jenž má odstup od křivky malý. Čím menší vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu, tím je menší kvalita výsledného stříhu, resp. střížné plochy. Pokud je vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu příliš velká, pak dochází ke vzniku nadměrného odpadu, a navíc je nutno vyvinout větší střížnou sílu.

Je pravidlem, že u stříhání plechu o tloušťce 4 mm má tlačnou hranu pouze přidržovač. V případě materiálu o tloušťce větší než 4 mm, pak je tlačná hrana umístěna jak na střížnici, tak na přidržovači.

2.2.6 Technologičnost [3], [5], [23], [24], [25], [26], [27]

Vždy je samozřejmě snahou snížit množství odpadu na minimum a maximalizovat využití daného materiálu. Je proto nutné vhodně rozvrhnout uspořádání výstřížků na pásu, svitku či tabuli plechu a samozřejmě vhodně zvolit i velikost výstřížku. Vytvoří se tak nástříhový plán, aby bylo maximálně využito materiálu a vzniklo tak minimum odpadu. Procentuální využití tabule i svitku plechu lze vypočítat dle následujících vztahů:

➤ Tabule plechu:

$$\eta_t = \frac{n_t \cdot S_v}{S_{\text{tab}}} \quad [\%], \quad (2.16)$$

kde: η_t – využitelnost tabule plechu [%],
 n_t – počet výstřížků z tabule plechu [ks],
 S_v – plocha výstřížku [mm^2],
 S_{tab} – plocha tabule [mm^2].

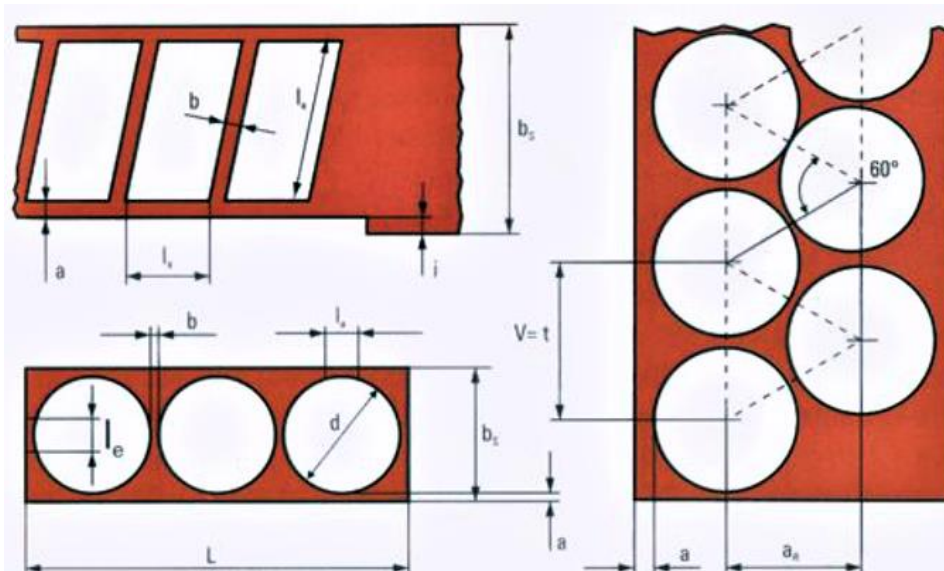
➤ Svitku plechu:

$$\eta_{sv} = \frac{n_s \cdot S_v}{S_{sv}} \quad [\%], \quad (2.17)$$

kde: η_{sv} – využitelnost svitku plechu [%],
 n_s – počet výstřížků ze svitku plechu [ks],
 S_{sv} – plocha svitku plechu [mm^2].

Nástříhový plán je zobrazen na obr. 17. Jak je vidět, zamýšlená součástka je na tomto plánu umístěna za sebou. Nevylučuje to však skutečnost, že pokud je zamýšlená součástka menších rozměrů, mohou být tyto součástky umístěny na nástříhovém plánu i vedle sebe.

V případě přesného stříhání bude šířka můstku i postranní odpad větší než v případě jiných druhů stříhání. To je způsobeno skutečností, že při přesném stříhání je potřeba místo pro zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu. Šířka můstku a vzniklý postranní odpad bude větší i v případě tvrdých materiálů. Je to z důvodu toho, že při tvrdším materiálu je nutné vyvodit větší třísový tlak a je tedy potřeba více místa. Současně je nutno brát v úvahu i tuhost okraje plechu. V konečném důsledku velikost postranního odpadu a velikost můstku ovlivňuje kvalitu střížné plochy. Platí přitom obecné pravidlo, že šířka tabule plechu či svitku plechu se rovná šířce výstřižku, která je zvětšena o 3 až 4 tloušťky plechu.



Obr. 17 Ukázka nástřihového plánu [25]

Při navrhování součástky je nutné dodržet tyto čtyři konstrukční parametry:

- 1) optimální navržení poloměru hran a rohů,
- 2) minimální šířka drážky a minimální průměr otvoru,
- 3) minimální vzdálenost mezi drážkami a otvory,
- 4) nejmenší možná vzdálenost od okraje plechu.

Výše uvedené konstrukční parametry jsou důležité z pohledu kvality výrobku a funkčnosti nástroje. Pokud by tyto parametry nebyly dodrženy, pak by došlo ke zhoršení kvality výrobku a ke snížení životnosti nástroje.

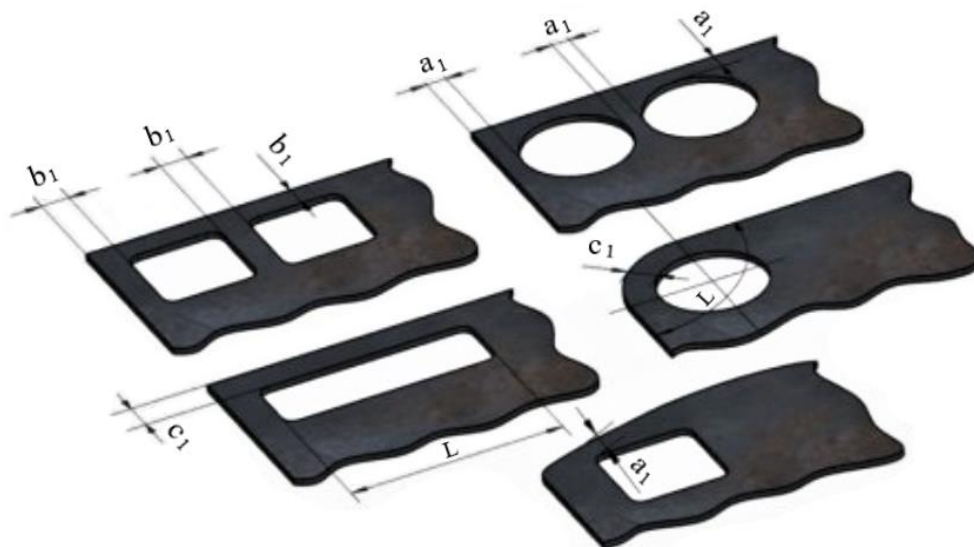
Nejmenší vzdálenost otvorů od okraje. Vzdálenost otvoru od okraje, případně otvorů mezi sebou (viz. obr. 18), je důležitý z pohledu vyrobitelnosti výrobku. Při nedodržení správné vzdálenosti může dojít k tomu, že výrobek nebude odpovídat kvalitativním požadavkům. Tyto vzdálenosti pak lze určit pomocí následujících výpočtů:

$$a_1 \geq 0,8 \cdot s \quad (2.18)$$

$$b_1 \geq s \quad (2.19)$$

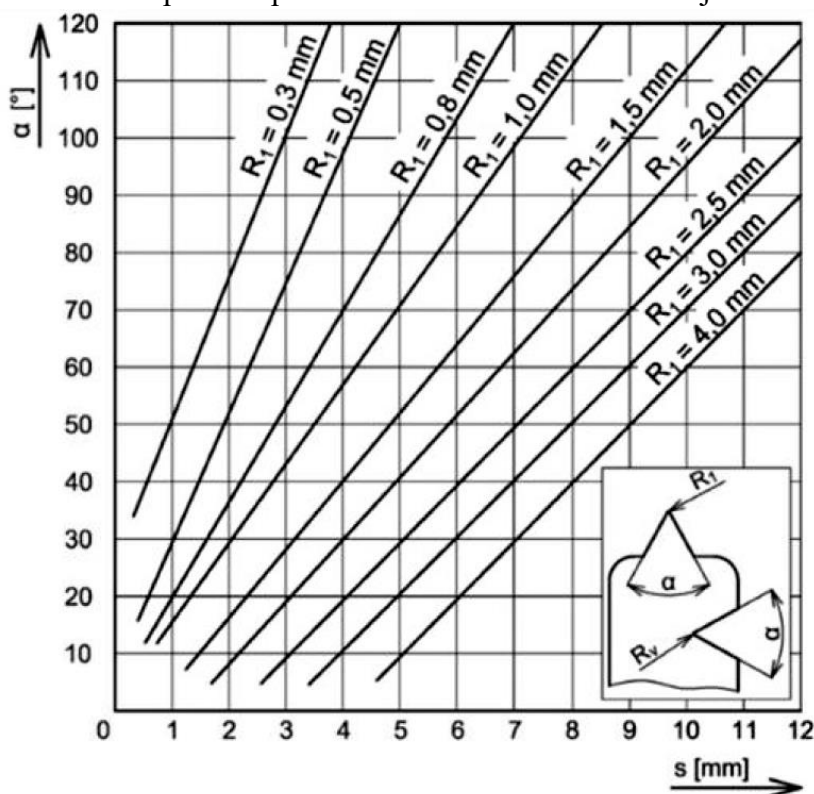
$$c_1 \geq 1,5 \cdot s \quad (2.20)$$

kde: a_1 = vzdálenost kruhového otvoru od okraje [mm],
 b_1 = vzdálenost čtvercového otvoru od okraje [mm],
 c_1 = vzdálenost kruhového otvoru od zaobleného okraje [mm].



Obr. 18 Umístění otvorů na výstřižku [27]

Jestliže má vyráběná součástka vyčnívající části, musí být navržnuta velikost poloměrů hran a rohů těchto částí. Ostré hrany a rohy, které se na této součástce mohou vyskytovat, mají za následek zmenšení životnosti nástroje. Také ovšem snižují výslednou kvalitu střížné plochy a jsou důvodem vzniku trhlinek na střížné ploše. Optimalizace velikosti hran a rohů je závislá na faktorech, jako jsou tloušťka používaného plechu, jeho pevnosti a na vrcholovém úhlu. Ke stanovení optimálního poloměru zaoblení pak slouží diagramy. Tento diagram je zobrazen na obr. 19. S tímto diagramem se pracuje tak, že minimální vnější poloměr R_1 je odečten přímo z tohoto diagramu a minimální vnitřní poloměr se určí jako 60 % hodnoty R_1 . Jedná se o diagram pro materiál s pevností $R_m = 400$ MPa. Pro materiály o jiných pevnostech se pak hodnoty z diagramu přepočítávají ve stanoveném poměru.

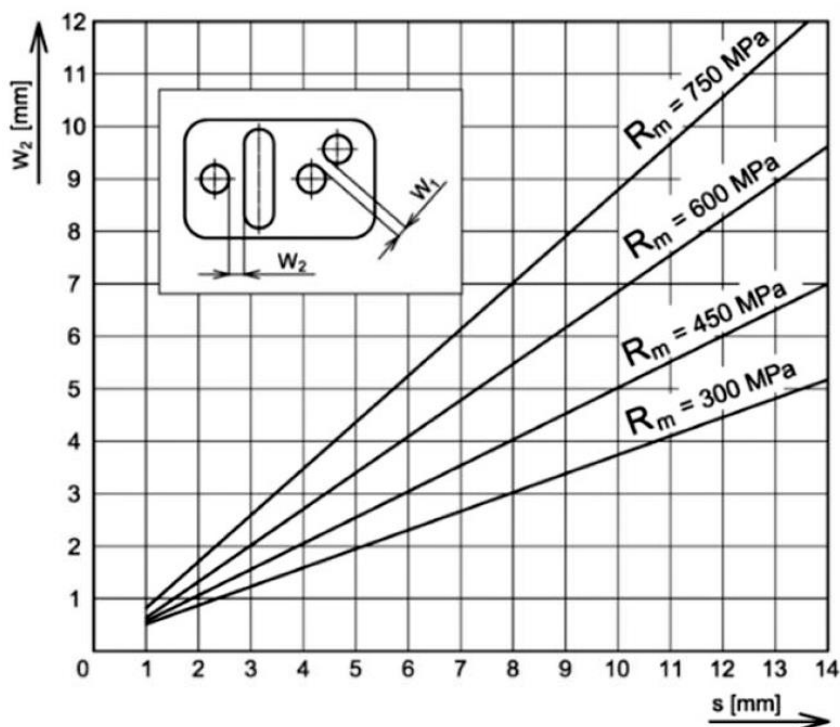


Obr. 19 Diagram pro optimalizaci velikosti poloměru hran a rohů [24]

Pokud má uvažovaná součást, která bude vyráběna přesným stříháním drážky a otvory, je potřeba navrhnout vzdálenost mezi nimi tak, aby byl zajištěn bezproblémový průběh stříhací operace s nejnižšími náklady při zachování co nejvyšší kvality. K tomuto účelu se využívají opět diagramy (viz. obr. 20). Princip spočívá v určení minimální vzdálenosti mezi drážkou a otvorem W_2 z diagramu a vzdálenost mezi otvory je pak posléze vypočítána pomocí vztahu:

$$W_1 \geq 0,85 \cdot W_2 \quad (2.21)$$

kde: W_1 – minimální vzdálenost mezi dvěma otvory [mm],
 W_2 – minimální vzdálenost mezi drážkou a otvorem [mm].



Obr. 20 Diagram pro určení minimální vzdálenosti mezi drážkami a otvory [24]

2.2.7 Vady na výstřižcích [3], [24], [26]

V této podkapitole budou uvedeny možné vady na finálních výstřižcích, které se mohou objevit při přesném stříhání. U každé vady bude uvedena příčina vzniku a možnosti nápravy.

- Održený okraj (obr. 21). Příčinou této vady je příliš velká střižná vůle. Této vadě lze však snadno předejít instalací nového střižníku.



Obr. 21 Vada održený okraj [24]

- Veliký otřep (obr. 22). Tato vada vzniká v důsledku malé střižné vůle a opotřebovaného střižníku, nebo v případě, kdy střižná vůle je nastavená na optimální hodnotu, ale střižník je vyštípnutý. Napravení pak spočívá ve zvětšení střižné vůle a přebroušení střižníku, případně v přebroušení a lapování střižníku.



Obr. 22 Vada veliký otřep [24]

- Kuželovitost střižné plochy (obr. 23). Tato vada vzniká v důsledku přílišného zaoblení střižnice. K napravení je třeba přebrousit střižnici a následně zmírnit její zaoblení.



Obr. 23 Vada kuželovitost střižnice [24]

- Příliš velký poloměr (obr. 24). K této vadě dochází, jestliže zaoblení střižnice je příliš velké, nebo dochází k malému protitlaku. Náprava spočívá v přebroušení střižnice a nížení jejího zaoblení, případně ve zvýšení protitlaku.



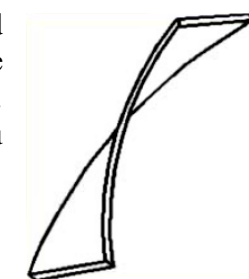
Obr. 24 Vada velký poloměr [24]

- Vypouklá plocha (obr. 25). K této vadě dochází, jestliže je příliš malý protitlak, případně se hromadí olej na páse. Náprava spočívá ve zvýšení protitlaku či vybroušení dalších drážek pro odvod oleje.



Obr. 25 Vada vypouklá plocha [24]

- Zkroucený výstřižek (obr. 26). Tento jev se objevuje, pokud v materiálu zůstává zbytkové napětí, poloha výstřižku je nevhodná či materiál má nepříznivý průběh vláken. Náprava je možná vyžiháním materiálu nebo změnou polohy výstřižku.



Obr. 26 Vada zkroucený výstřižek [24]

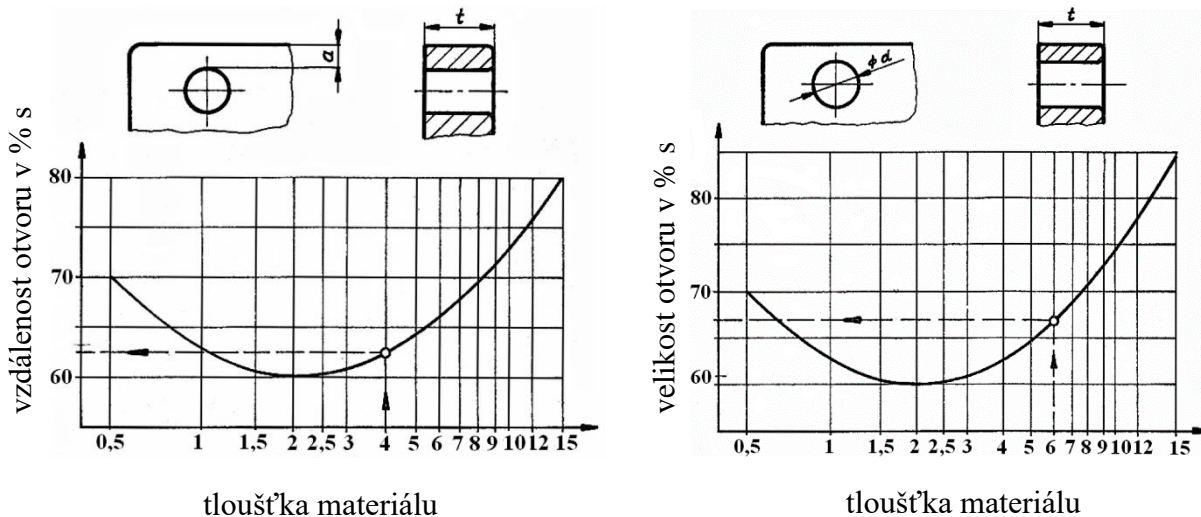
3 NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY [24]

Jak již bylo zmíněno výše, jako nejvhodnější technologie pro výrobu zadané součásti, tedy rozety motocyklu o velikosti výrobní série 100 000 ks ročně, je zvolena technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. U této technologie je před samotným návrhem zkontrolovat technologičnost, vhodnost materiálu a vyrobitelnost dané součásti touto metodou. Zvolený materiál, konstrukční ocel ČSN 11 500, vyhovuje požadavkům vhodnosti přesného stříhání. Mezi ně patří především mez pevnosti, která se nachází v rozmezí 470 až 610 MPa a obsah uhlíku do 0,38 %. Model vyráběné rozety je zobrazen na obr. 27.



Obr. 27 Model rozety

Při posuzování velikosti stříhaných otvorů platí u přesného stříhání menší omezení, než je to např. u postupového stříhání. U klasického stříhání se vychází ze vztahu $d \geq s$ neboli průměr stříhaného otvoru musí být větší nebo roven, než je tloušťka daného materiálu. V případě přesného stříhání se velikost průměru sníží u některých materiálů až o polovinu tloušťky. Podobně je tomu tak i u šířky můstku. Orientační posouzení minimálního dovoleného rozměru díry lze provést pomocí diagramů (obr. 28).



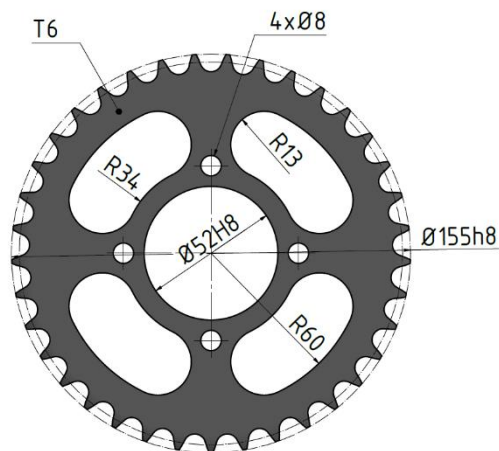
Obr. 28 Závislost vzdálenosti a velikosti otvorů na tloušťce materiálu [24]

Z těchto diagramů pro materiál s tloušťkou 6 mm byly odečteny hodnoty pro nejmenší možnou vzdálenost a_0 a nejmenší možný průměr díry d_0 , které jsou následující:

$$a_0 = 66 \% \cdot s = 66 \% \cdot 6 = 3,96 \text{ mm},$$

$$d_0 = 68 \% \cdot s = 68 \% \cdot 6 = 4,08 \text{ mm}.$$

Vypočteným hodnotám rozměry otvorů i vzdálenosti od okraje součásti vyhovují. Součást tak není potřeba upravovat. Co se týče požadované přesnosti výroby řetězového kola IT 8, tak ta je vzhledem ke zvolené technologii rovněž přijatelná. Ostatní netolerované rozměry jsou všeobecně tolerovány dle ČSN ISO 2768-1 střední třídy. Základní rozměry součásti jsou zobrazeny na obr. 29.



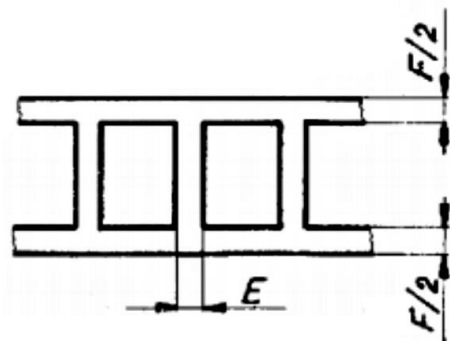
Obr. 29 Základní rozměry součásti

3.1 Velikost postranního odpadu a šířky můstku [14], [17], [21], [24]

Hodnota postranního odpadu F a velikost můstku E byly voleny na základě tabulky. Jak je vidno, hodnota postranního odpadu F je celková, ale jelikož se nachází na obou krajích pásu, je nutno tuto hodnotu rozdělit na poloviny. Konkrétní hodnoty můstku a postranního odpadu jsou znázorněny v tab. 6.

Tab. 6 Velikost můstku a postranního odpadu [24]

Tloušťka materiálu	E	F	Tloušťka materiálu	E	F
[mm]			[mm]		
0,5	2	3	6	8	14
0,8	3	3,5	7	9	15
1	3	4	8	10	16
1,2	3,5	4	9	11	17
1,5	4	5	10	12	18
2	4,5	6	12,5	15	20
2,5	5	8	15	18	25
3	5,5	9	16,5	22	28
3,5	6	10	18	23	32
4	6,5	11	20	25	35
5	7	12			



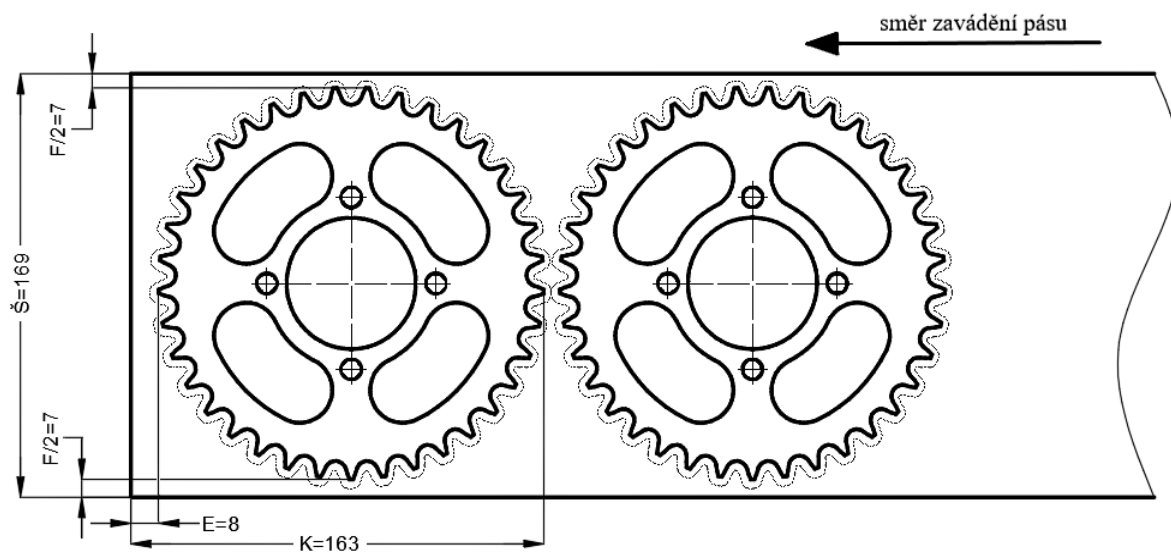
Obr. 30 Znázornění můstku a postranního odpadu [24]

Dle tabulky byly zvoleny hodnoty postranního odpadu F a velikosti můstku E pro zadanou součást s tloušťkou plechu 6 mm. Takto určené hodnoty jsou:

$$E = 8 \text{ mm},$$

$$F = 14 \text{ mm} (F/2 = 7 \text{ mm}).$$

Na základě těchto určených hodnot je možné stanovit nástřihový plán výroby (obr. 31) a propočít využití materiálu.

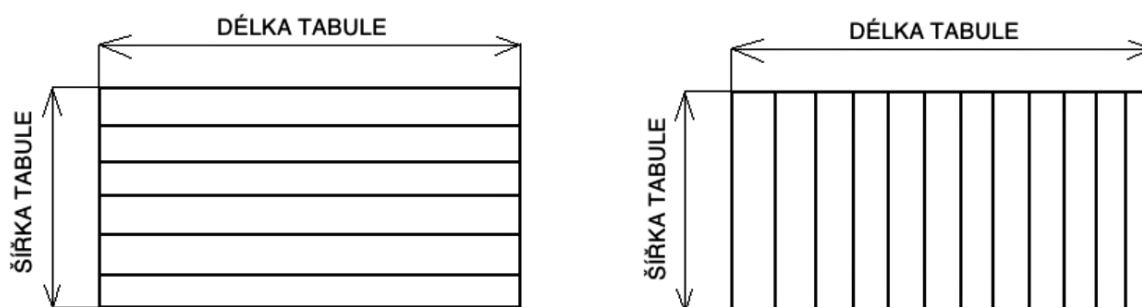


Obr. 31 Nástřihový plán

3.2 Využití materiálu

Důležitý faktor, který se podílí na ekonomičnosti výroby, je právě procentuální využití materiálu. Při zajišťování polotovaru pro výrobu přichází v úvahu dvě varianty. První z nich je pořízení tabulí plechu, které se dodávají v několika rozměrových variantách. Tyto tabule se pak dělí na pásy, ze kterých jsou následně zhotoveny dané výstřižky. Druhou variantou je pořízení svitků plechu. U těch bývá zpravidla vyšší využití materiálu, což je způsobeno především tím, že zavádění svitků plechu do střížného nástroje je kontinuální proces. S tím ale souvisí nutnost zavedení přídatných zařízení, jako jsou např. rovnačka a odvíjecí zařízení. To způsobí nárůst pořizovacích nákladů na stroj. Proto bude uvažována první varianta s tabulemi plechu.

Řešená součást je kruhovitého tvaru, proto budou uvažovány pouze dvě varianty nástřihového plánu, a to dělení tabule plechu horizontálně a vertikálně (obr. 32). Ekonomické využití jednotlivých rozměrů tabulí je uvedeno v tab. 7, 8.



Obr. 32 Vlevo – horizontální dělení tabule, vpravo – vertikální dělení tabule

Tab. 7 Ekonomické využití – tabule stříhány podél

Tabule stříhány podél						
Rozměry tabule	S_{Tab}	[mm]	1000×2000	1250×2500	1500×3000	2000×4000
Šířka tabule	\check{S}_{Tab}	[mm]	1 000	1 250	1 500	2 000
Šířka jednoho pásu	\check{s}_p	[mm]	169	169	169	169
Délka jednoho pásu (tabule)	l_p	[mm]	2 000	2 500	3 000	4 000
Krok	k	[mm]	163	163	163	163
Počet pásů z jedné tabule	n_{PTab}	[ks]	5	7	8	11
Počet dílů na pás	n_{DP}	[ks]	12	15	18	24
Počet dílů z jedné tabule	n_{DTab}	[ks]	60	105	144	264
Potřebný počet tabulí	n_{Tab}	[ks]	1 667	953	695	379
Plocha dílů z jedné tabule	S_{DTab}	[mm ²]	1 007 425,1	1 762 994,0	2 417 820,3	4 432 670,6
Ekonomické využití materiálu	E_v	[%]	50,37	56,42	53,73	55,41

Tab. 8 Ekonomické využití – tabule stříhány napříč

Tabule stříhány napříč						
Rozměry tabule	S _{Tab}	[mm]	1000×2000	1250×2500	1500×3000	2000×4000
Šířka tabule	š _{Tab}	[mm]	2 000	2 500	3 000	4 000
Šířka jednoho pásu	š _p	[mm]	169	169	169	169
Délka jednoho pásu (tabule)	l _p	[mm]	1 000	1 250	1 500	2 000
Krok	k	[mm]	163	163	163	163
Počet pásů z jedné tabule	n _{PTab}	[ks]	11	14	17	23
Počet dílů na pás	n _{DP}	[ks]	6	7	9	12
Počet dílů z jedné tabule	n _{DTab}	[ks]	66	98	153	276
Potřebný počet tabulí	n _{Tab}	[ks]	1 516	1 021	654	363
Plocha dílů z jedné tabule	S _{DTab}	[mm ²]	1 108 167,7	1 645 461,1	2 568 934,1	4 634 155,6
Ekonomické využití materiálu	E _v	[%]	55,41	52,65	57,09	57,93

Příklad výpočtu pro tabuli o rozměrech (6 × 2 000 × 4 000) mm, kdy jsou pásy stříhány napříč:

a) počet pásů z jedné tabule:

$$n_{PTab} = \frac{\check{s}_{Tab}}{\check{s}_p} = \frac{4\,000}{169} = 23,669 \text{ ks, převedeno na celé pásy je } n_{PTab} \cong 23 \text{ ks.}$$

b) počet dílů na pás:

$$n_{DP} = \frac{l_p}{k} = \frac{2\,000}{163} = 12,270 \text{ ks, uvažují se pouze celé díly, tedy 12 dílů na pás.}$$

c) počet dílů z jedné tabule:

$$n_{DTab} = n_{PTab} \cdot n_{DP} = 23 \cdot 12 = 276 \text{ ks dílů z jedné tabule.}$$

d) potřebný počet tabulí:

$$n_{Tab} = \frac{n_{DC}}{n_{DTab}} = \frac{100\,000}{276} = 362,32 \text{ ks, po zaokrouhlení na celé tabule} \rightarrow$$

$$n_{Tab} = 363 \text{ ks.}$$

e) plocha dílů z jedné tabule:

Hodnota plochy jednoho dílu byla vypočtena pomocí PC programu Autodesk Inventor Professional 2020. Velikost plochy se tedy rovná: $S_D = 16\,790,419\text{ mm}^2$. Plocha dílů na jednu tabuli je:

$$S_{DTab} = S_D \cdot n_{DTab} = 16\,790,419 \cdot 276 = 4\,634\,155,6\text{ mm}^2.$$

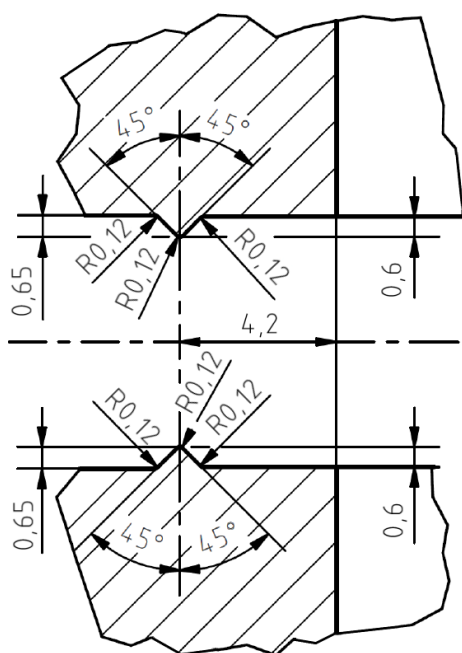
f) ekonomické využití materiálu:

$$E_v = \frac{S_{DTab}}{S_{Tab}} \cdot 100 = \frac{4\,634\,155,6}{2\,000 \cdot 4\,000} = 57,93\%.$$

3.3 Tlačná hrana [17], [23]

Zadaná součást je vyráběna z plechu tloušťky 6 mm, což překračuje mezní hodnotu pro použití tlačné hrany pouze na přitlačné desce (4 mm), a proto je tlačná hrana zhotovena jak na přitlačné desce, tak i na střížnici.

Rozměry tlačné hrany lze určit pomocí vztahů 2.12, 2.13, 2.15. Nicméně lze rovněž použít směrnice pro přesné stříhání s tlačnou hranou, které byly vytvořeny pro firmu Zbrojovka Brno. Dle těchto směrnic byly určeny všechny potřebné rozměry tlačné hrany (obr. 33).



Obr. 33 Tlačné hrany

zářezu hodnota vzdálenosti zubové mezery zadaného řetězového kola, která je spočtena na roztečné kružnici pomocí PC programu Autodesk Inventor Professional 2020. Ta se rovná 9,185 mm. Po dosazení platí nerovnost:

$$b > 15 \cdot 0,6,$$

$$9,185 > 9.$$

Z výsledné nerovnosti tedy plyne, že tlačná hrana bude kopírovat tvar řetězového kola ve vzdálenosti $a = 4,2\text{ mm}$ (obr. 34).

Konkrétně to jsou tyto hodnoty:

- a) vzdálenost vrcholu tlačné hrany od stříhaného obvodu: $a = 4,2\text{ mm}$,
- b) výška tlačné hrany: $h = 0,6\text{ mm}$,
- c) výška tlačné hrany: $h_1 = 0,65\text{ mm}$,
- d) poloměr zaoblení tlačné hrany: $R = 0,12\text{ mm}$.

Způsob kopírování vystřihovaného tvaru tlačnou hranou lze určit pomocí vztahu:

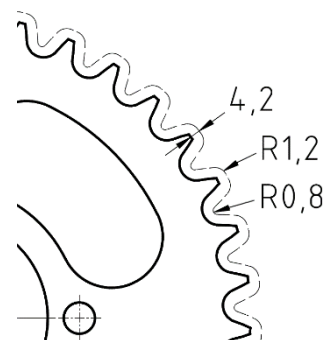
$$b > 15 \cdot h \quad [\text{mm}], \quad (3.1)$$

kde: b – šířka zářezu [mm],

h – výška tlačné hrany [mm].

V případě, že tento vztah platí, je tlačná hrana vedena podél obrysu stříhané součásti. Pokud tato nerovnost neplatí, je nutno zvolit pouze přibližné kopírování tvaru výstřižku.

Do uvedeného vztahu je tedy dosazena za šířku



Obr. 34 Poloha tlačné hrany

3.4 Střížná vůle [17], [23]

Střížná vůle, neboli mezera mezi střížníkem a střížnicí, je určena na základě vztahů, jež zohledňují tloušťku stříhaného materiálu. Pro tloušťku plechu nad 3 mm, což tedy vyhovuje zadané tloušťce materiálu 6 mm, platí vztah pro určení střížné vůle dle vzorce 2.11:

$$v = 2 \cdot z = 0,32 \cdot (1,5 \cdot c_m \cdot s - 0,0015) \cdot \sqrt{\tau_s},$$

$$v = 0,32 \cdot (1,5 \cdot 7 \cdot 10^{-4} \cdot 6 - 0,0015) \cdot \sqrt{0,8 \cdot 610},$$

$$v = 0,0339 \text{ mm.}$$

V praxi se běžně určuje střížná vůle pomocí jednoduchého vztahu jako 0,5 % z tloušťky stříhaného materiálu:

$$v = 0,005 \cdot 6 = 0,03 \text{ mm.}$$

Po srovnání obou výsledků lze konstatovat, že rozdíl těchto dvou hodnot je zcela minimální. Pro další výpočty je střížná vůle stanovena jako $v = 0,03 \text{ mm}$. Následně je možno určit i střížnou mezeru z , která má poloviční hodnotu střížné vůle:

$$z = 0,5 \cdot v = 0,5 \cdot 0,03 = 0,015 \text{ mm.}$$

3.5 Síly a práce [14], [17], [23]

Před volbou vhodného lisu pro přesné stříhání vyráběné součásti je potřeba vypočítat celkovou sílu, která je určena vztahem 2.1. Jednotlivé složky této síly lze určit pomocí uvedených vztahů 2.2, 2.3 a 2.4 následovně:

a) střížná síla:

Pokud se do vztahu 2.2 dosadí za délku stříhu hodnota obvodu stříhané součásti $l = 1\,600,537 \text{ mm}$, která byla spočtena PC programem Autodesk Inventor Professional 2020 a za součinitel otupení nože $n = 1,5$, poté je výsledný vztah:

$$F_S = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m = 1,5 \cdot 1\,600,537 \cdot 6 \cdot 0,8 \cdot 610 = 7\,029\,558,5 \text{ N,}$$

$$F_S \cong 7\,029,559 \text{ kN.}$$

b) síla na přitlačné desce:

Hodnota délky tlačné hrany byla opět spočtena PC programem Autodesk Inventor Professional 2020 a je rovna $L_h = 829,015 \text{ mm}$.

$$F_P = 4 \cdot R_m \cdot L_h \cdot h = 4 \cdot 610 \cdot 829,015 \cdot 0,6 = 1\,213\,677,96 \text{ N} \cong 1\,213,678 \text{ kN.}$$

c) síla na vyhazovači:

Hodnota měrného tlaku je zvolena $p = 70 \text{ MPa}$.

$$F_V = S \cdot p = 16\,790,419 \cdot 70 = 1\,175\,329,33 \text{ N} \cong 1\,175,329 \text{ kN.}$$

d) celková síla:

$$F_C = F_S + F_P + F_V = 7\,029\,558,5 + 1\,213\,677,96 + 1\,175\,329,33 = 9\,418\,565,79 \text{ N,}$$

$$F_C \cong 9\,418,566 \text{ kN.}$$

e) střížná práce:

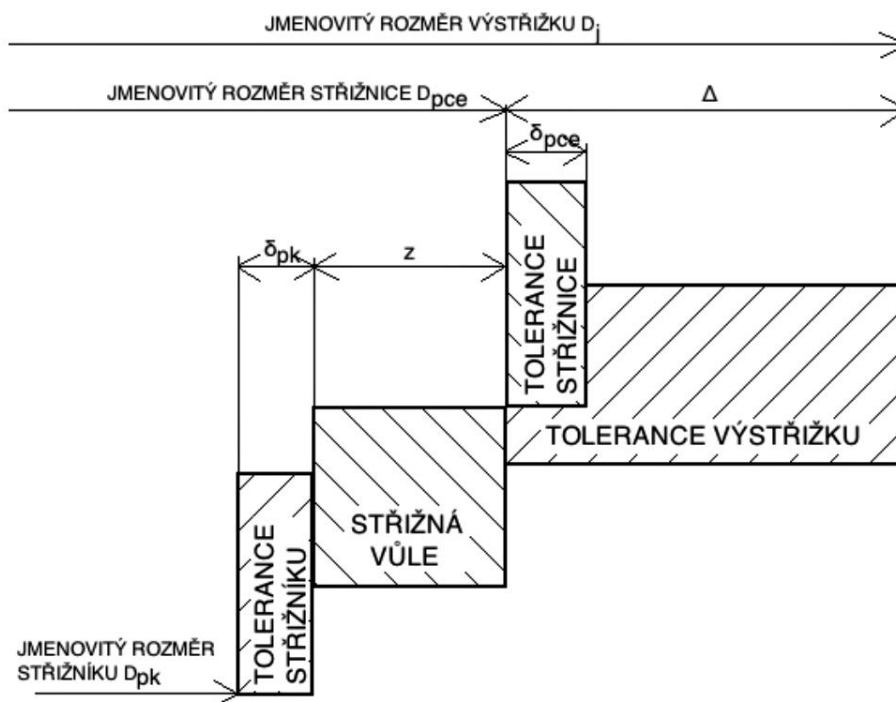
Pokud za součinitele plnosti diagramu $F_s - s$ je dosazena hodnota $\lambda_0 = 0,75$, poté je výsledný vztah následující:

$$A = F_{s\max} \cdot s \cdot \lambda_0 = 7\,029\,558,50 \cdot 6 \cdot 0,75 = 31\,633\,013,25 \text{ J} \cong 31\,633,013 \text{ kJ}.$$

3.6 Určení rozměrů střížníků a střížnic [33]

Dané části střížného nástroje, pomocí kterých se uskutečňuje vlastní stříh, tj. střížnice a střížníky, je nutno vyrobit v takových rozměrech, aby i po opotřebení byl zachován tvar výstřížku včetně jeho tolerance. Je tedy nutné zohlednit opotřebení střížnice i střížníku a tomu přizpůsobit jejich tolerance v závislosti na tom, zda je součást vystřihována nebo děrována.

Vystřihování – při tomto procesu je výsledkem výstřížek. Vychází se tedy z rozměrů střížnice, jelikož ta je postupně opotřebována a dochází ke zvětšování obrysu vystřihované součásti. Proto je potřeba při výrobě střížnice vyrobit dané otvory menší, aby se při opotřebení stále vyskytovali v požadované toleranci výstřížku (obr. 35). Tím je zajištěno, že výstřížek bude vyroben v přípustných odchylkách jeho rozměrů.



Obr. 35 Určení rozměrů střížníků a střížnice při vystřihování [33]

Pro určení rozměrů střížníků a střížnice je užito těchto vztahů:

a) výpočet jmenovitého rozměru střížnice:

$$D_{pce} = (D_j - \Delta) + \delta_{pce} \quad [\text{mm}], \quad (3.2)$$

kde: D_j – jmenovitý rozměr výstřížku [mm],

Δ – tolerance výstřížku [mm],

δ_{pce} – tolerance střížnice [mm].

Po dosazení jednotlivých rozměrů:

$$D_{pce155} = (155 - 0,063) + 0,022 = 154,937^{+0,022}_0 \text{ mm},$$

$$D_{pce149,75} = (149,75 - 0,063) + 0,022 = 149,687^{+0,022}_0 \text{ mm},$$

$$D_{pce141,15} = (141,15 - 0,063) + 0,022 = 141,087^{+0,022}_0 \text{ mm}.$$

b) výpočet jmenovitého rozměru střížníku:

$$D_{pk} = (D_j - \Delta - z_{\min}) - \delta_{pk} \quad [\text{mm}], \quad (3.3)$$

kde: z_{\min} – minimální střížná vůle [mm],

δ_{pk} – tolerance střížníku [mm].

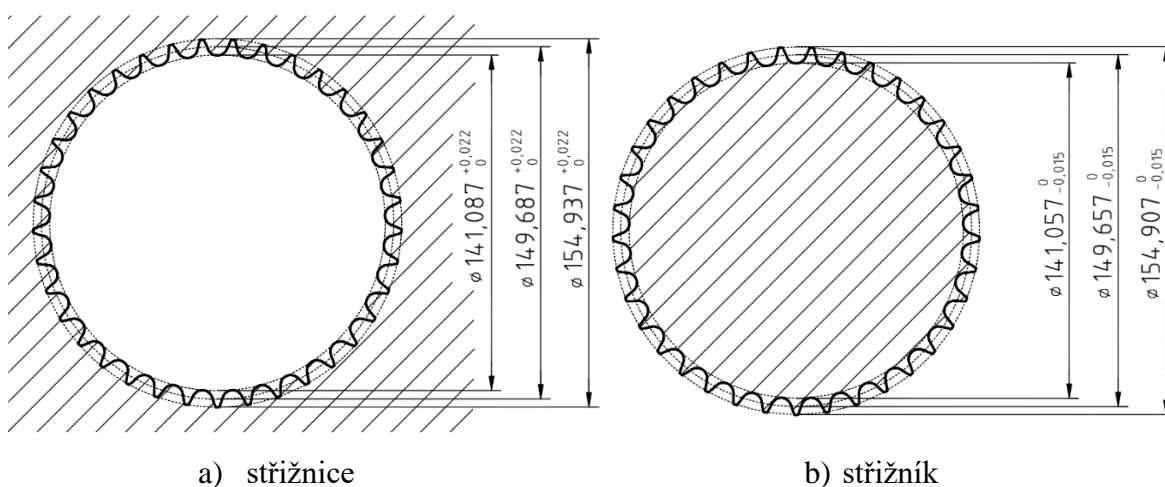
Po dosazení jednotlivých rozměrů:

$$D_{pk155} = (155 - 0,063 - 0,03) - 0,015 = 154,907^{0}_{-0,015} \text{ mm},$$

$$D_{pk149,75} = (149,75 - 0,063 - 0,03) - 0,015 = 149,657^{0}_{-0,015} \text{ mm},$$

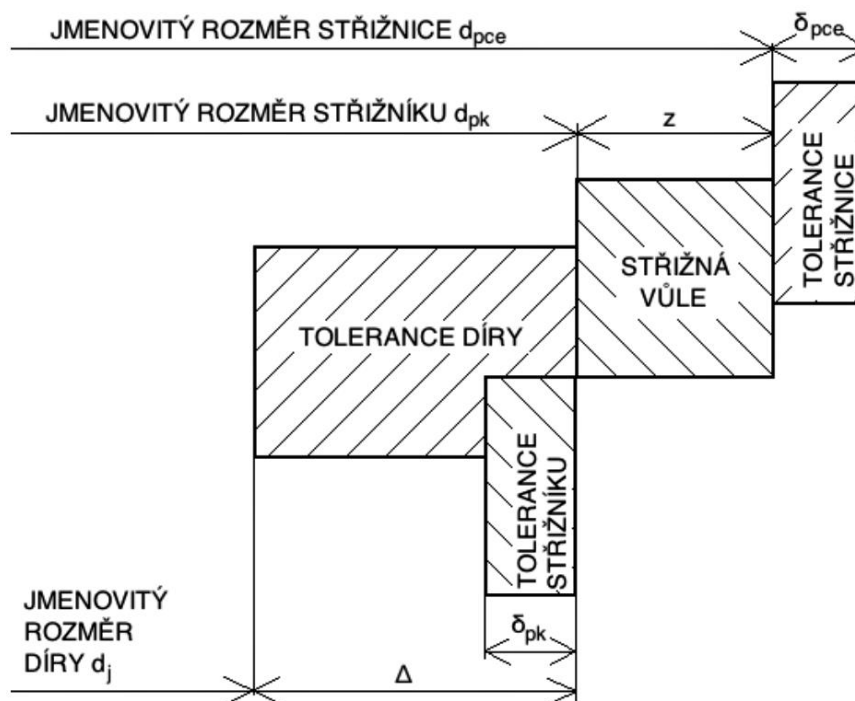
$$D_{pk141,15} = (141,15 - 0,063 - 0,03) - 0,015 = 141,057^{0}_{-0,015} \text{ mm}.$$

Výsledné hodnoty jsou graficky znázorněny na obr. 36.



Obr. 36 Funkční rozměry střížnice a střížníku – výrobkem je výstřížek

Děrování – při tomto procesu je výrobkem otvor. V takovém případě se vychází z rozměrů střížníku. Jeho opotřebováváním postupně dochází ke zmenšování obrysu součástí. Střížník je tedy nutno vyrobit s větším rozměrem, aby bylo zabezpečeno, že se vyrobený otvor i po opotřebování střížníku bude nacházet v přípustných odchylkách. Grafické znázornění určení rozměrů při děrování je na obr. 37.



Obr. 37 Určení rozměrů střížníků a střížnice při děrování [33]

Pro určení rozměrů střížníků a střížnice je užito těchto vztahů:

a) výpočet jmenovitého rozměru střížnice:

$$d_{pce} = (D_j + \Delta + z_{\min}) + \delta_{pce} \quad [\text{mm}]. \quad (3.4)$$

Po dosazení jednotlivých rozměrů:

$$\begin{aligned} d_{pce8} &= (8 + 0,15 + 0,03) + 0,040 = 8,18_0^{+0,040} \text{ mm}, \\ d_{pce52} &= (52 + 0,046 + 0,03) + 0,016 = 52,076_0^{+0,016} \text{ mm}, \\ d_{pce13} &= (13 + 0,2 + 0,03) + 0,054 = 13,23_0^{+0,054} \text{ mm}, \\ d_{pce34} &= (34 + 0,1 + 0,03) + 0,032 = 34,13_0^{+0,032} \text{ mm}, \\ d_{pce60} &= (60 + 0,3 + 0,03) + 0,089 = 60,33_0^{+0,089} \text{ mm}. \end{aligned}$$

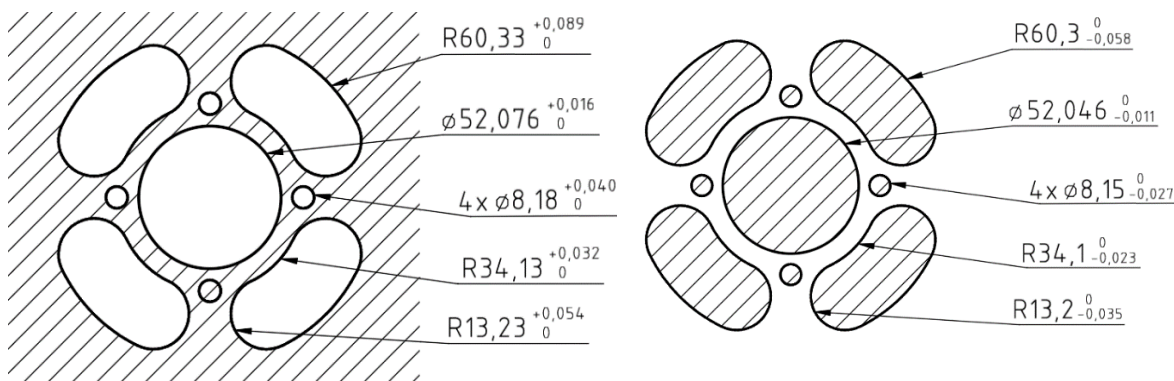
b) výpočet jmenovitého rozměru střížníku:

$$d_{pk} = (D_j + \Delta) - \delta_{pk} \quad [\text{mm}]. \quad (3.5)$$

Po dosazení jednotlivých rozměrů:

$$\begin{aligned} d_{pk8} &= (8 + 0,15) - 0,027 = 8,15_{-0,027}^0 \text{ mm}, \\ d_{pk52} &= (52 + 0,046) - 0,011 = 52,046_{-0,011}^0 \text{ mm}, \\ d_{pk13} &= (13 + 0,2) - 0,035 = 13,2_{-0,035}^0 \text{ mm}, \\ d_{pk34} &= (34 + 0,1) - 0,023 = 34,1_{-0,023}^0 \text{ mm}, \\ d_{pk60} &= (60 + 0,3) - 0,058 = 60,3_{-0,058}^0 \text{ mm}. \end{aligned}$$

Výsledné hodnoty jsou graficky znázorněny na obr. 38.



Obr. 38 Funkční rozměry střížnice a střížníku – výrobkem je otvor

3.7 Kontrola střížníku na vzpěr

U návrhu střížníku musí být zohledněn fakt, že během střížného procesu tak úzkým střížníkem jako je ten s průměrem 8 mm, by mohlo dojít k jeho pokrivení nebo jakémukoliv jinému znehodnocení, což by negativně ovlivnilo chod výroby. Proto je nutno provést kontrolu na vzpěr. Ta bude provedena pomocí výpočtového vztahu kritické délky střížníku:

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_m \cdot I}{\mu \cdot d_s \cdot s \cdot \tau_s}} \quad [\text{mm}], \quad (3.6)$$

kde: E_m – modul pružnosti v tahu [MPa],

I – moment setrvačnosti daného průřezu ($I = \frac{\pi \cdot d^4}{64}$) [mm⁴],

μ – koeficient bezpečnosti (1,0 ÷ 2,0) [-],

d_s – průměr kontrolovaného střížníku [mm].

Po dosazením zvoleného koeficientu bezpečnosti $\mu = 2$ je vztah následující:

$$l_{\text{krit}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E_m \cdot \frac{\pi \cdot d^4}{64}}{\mu \cdot d_s \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot \frac{\pi \cdot 8^4}{64}}{2 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 0,8 \cdot 610}} = 188,629 \text{ mm}.$$

Kritická hodnota, kterou by střížník neměl přesáhnout je tedy 188,629 mm. Vzhledem k tomu, že uvažovaný střížník má délku 85 mm, lze konstatovat, že délka střížníku vyhovuje.

3.8 Kontrola pevnosti střížníku

Dále u nejmenšího uvažovaného střížníku je nutno provést také kontrolu jeho pevnosti. Je totiž možné, že nebude schopen odolávat pevnostnímu zatížení během stříhu. Zvolený materiál pro výrobu střížníku je nástrojová ocel 19 436. Ta je schopna přenášet napětí v rozmezí 2 490 MPa až 2 610 MPa. Jako bezpečná hranice je uvažována spodní mez daného rozmezí, tedy 2 490 MPa. Této hodnoty by uvažovaný střížník neměl dosáhnout. Dovolené napětí je dáno vztahem:

$$\sigma_{\text{PS}} = \frac{F_{\text{S8}}}{S_{\text{S8}}} = \frac{n \cdot l \cdot s \cdot \tau_s}{\frac{\pi \cdot d_s^2}{4}} = \frac{n \cdot \pi \cdot d_s \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m}{\frac{\pi \cdot d_s^2}{4}} \quad [\text{MPa}], \quad (3.7)$$

kde: F_{S8} – střižná síla kontrolovaného průměru $d_s = 8$ mm [N],

S_{S8} – plocha kontrolovaného průměru [mm²].

Po dosazení je vztah následující:

$$\sigma_{PS} = \frac{F_{S8}}{S_{S8}} = \frac{1,5 \cdot \pi \cdot 8 \cdot 6 \cdot 0,8 \cdot 610}{\frac{\pi \cdot 8^2}{4}} = 2\,196 \text{ MPa.}$$

Výsledné dovolené napětí je 2 196 MPa a nachází se tedy pod hranicí 2 490 MPa. Z pevnostního hlediska střižník vyhovuje.

3.9 Kontrola střižníku na otláčení

Mezní hodnota dovoleného napětí pro otláčení je rovna 180 MPa. Uvažovaný střižník o průměru 8 mm je upnutý za průměr osazení 10 mm. Pokud by tato hodnota byla překročena, hrozilo by, že dojde k deformaci upínací části střižníku směrem do podložky. Tomuto stavu lze předejít vložením kalené opěrné desky mezi kotevní desku a podložku. Výpočet je dán vztahem:

$$\sigma_O = \frac{F_{S10}}{S_{S10}} = \frac{n \cdot l \cdot s \cdot \tau_S}{\frac{\pi \cdot d_o^2}{4}} = \frac{n \cdot \pi \cdot d_o \cdot s \cdot \tau_S}{\frac{\pi \cdot d_o^2}{4}} \quad [\text{MPa}], \quad (3.8)$$

kde: F_{S10} – střižná síla kontrolovaného průměru osazení $d_o = 10$ mm [N],

S_{S10} – plocha kontrolovaného průměru osazení [mm²].

Po dosazení je vztah následující:

$$\sigma_O = \frac{F_{S10}}{S_{S10}} = \frac{1,5 \cdot \pi \cdot 10 \cdot 6 \cdot 0,8 \cdot 610}{\frac{\pi \cdot 10^2}{4}} = 1\,756,8 \text{ MPa.}$$

Vypočtená hodnota je několikanásobně větší než dovolená hodnota napětí 180 MPa. Z tohoto důvodu je nutno použít k opření upínací části střižníku kalenou opěrnou desku.

3.10 Výpočet tlačných a vyrážecích kolíků

Pro přenos pohybu v nástroji bez ovlivnění nepohyblivých částí se používají tlačné a vyrážecí kolíky. Jejich bezpečné množství je nutno určit v závislosti na jejich uvažovaném průměru a působících silách dle těchto vztahů:

a) počet tlačných kolíků:

$$B_{TK} = \frac{S_{VY}}{S_{TK}} = \frac{\frac{F_V}{3 \cdot p}}{\frac{\pi \cdot d_{TK}^2}{4}} \quad [\text{ks}], \quad (3.9)$$

kde: S_{VY} – plocha působení síly vyhazovače F_V [mm²],

S_{TK} – průřez tlačného kolíku [mm²],

d_{TK} – průměr tlačného kolíku [mm].

Po dosazení je vztah následující:

$$B_{TK} = \frac{S_{VY}}{S_{TK}} = \frac{\frac{1\,175\,329,33}{3 \cdot 70}}{\frac{\pi \cdot 22^2}{4}} = 7,988 \text{ ks, je zvolen nejbližší vyšší počet} \rightarrow 8 \text{ ks.}$$

b) počet vyřazecích kolíků:

$$B_{VK} = \frac{S_P}{S_{VK}} = \frac{\frac{F_P}{3 \cdot p}}{\frac{\pi \cdot d_{VK}^2}{4}} \quad [\text{ks}], \quad (3.10)$$

kde: S_P – plocha působení přitlačné síly F_P [mm²],

S_{VK} – průřez vyřazecího kolíku [mm²],

d_{VK} – průměr vyřazecího kolíku [mm].

Po dosazení je vztah následující:

$$B_{VK} = \frac{S_P}{S_{VK}} = \frac{\frac{1\,213\,677,96}{3 \cdot 70}}{\frac{\pi \cdot 36^2}{4}} = 5,678 \text{ ks, nejbližší vyšší počet} \rightarrow 6 \text{ ks.}$$

Jelikož materiály kolíků jsou podobné s materiálem střižníku, u kterého byla provedena kontrola na vzpěr, pevnost a otlacení, není nutno provádět kontrolu u těchto větších průměrů. Je zřejmé, že by kontrole vyhověly.

3.11 Výška střižnice

Střižnice je během provozu namáhána na tlak i ohyb. Proto je nezbytné stanovit její bezpečnou výšku, u které bude zabezpečeno, že nedojde k jejímu zlomení či poškození. Výška střižnice je dána vztahem:

$$H = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_0}{D_1}\right) \cdot \frac{1,5 \cdot F_S}{\sigma_{DOV}}} = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D_0}{D_1}\right) \cdot \frac{1,5 \cdot F_S}{\frac{R_{mo}}{1,8}}} \quad [\text{mm}], \quad (3.11)$$

kde: D_0 – vnitřní průměr střižnice [mm],

D_1 – vnější průměr střižnice [mm],

σ_{DOV} – dovolené namáhání v ohybu [MPa],

R_{mo} – mez pevnosti v ohybu (pro ocel 19 437 = R_{mo} = 3 750 MPa).

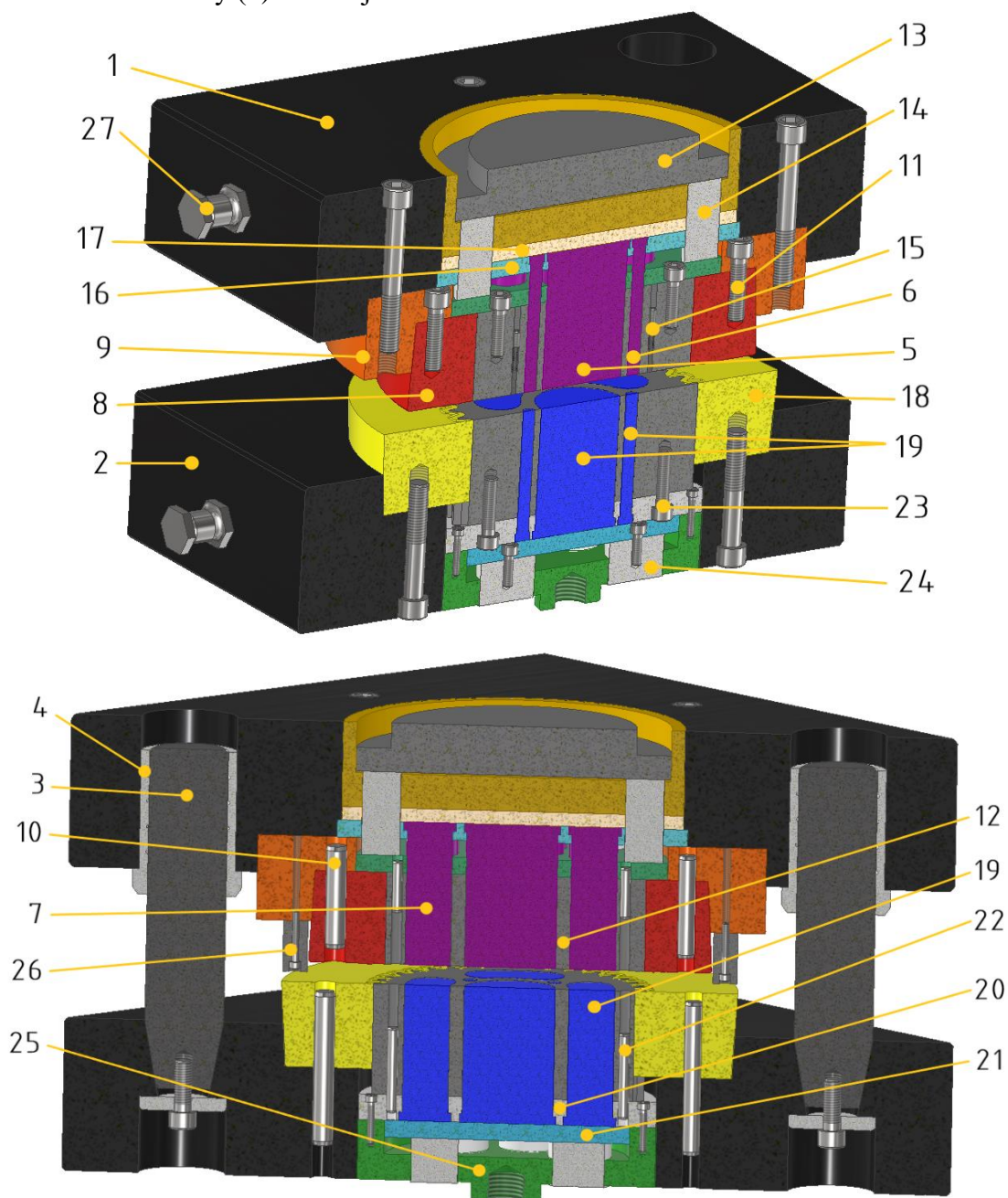
Po dosazení je vztah následující:

$$H = \sqrt{\left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{142}{230}\right) \cdot \frac{1,5 \cdot 7\,029\,558,50}{\frac{3\,750}{1,8}}} = 54,572 \cong 55 \text{ mm.}$$

3.12 Princip nástroje [24]

Nástroj, pomocí kterého bude vyráběna rozeta motocyklu, je zkonstruován na základě směrnic pro přesné stříhání od firmy Zbrojovka Brno. Typem nástroje je zvolena varianta s pohyblivým střížníkem a pevnou přítlačnou deskou. Tento typ uspořádání byl vybrán z toho důvodu, že vzhledem ke členitému tvaru výstřižku dokáže zajistit přesnější chod střížníku vůči střížnici oproti variantě s pohyblivou přítlačnou deskou a pevným střížníkem. Díky tomu lze pak dosáhnout přesnějších rozměrů výstřižku.

Střížný nástroj (obr. 39) je složen ze dvou hlavních částí, horní a spodní. Obě části jsou vůči sobě vymezeny pomocí dvojice vodících sloupků (3), které jsou umístěny v úhlopříčce, přičemž každý z nich má jiný průměr, aby nedošlo ke špatnému nasazení. Sloupky jsou upevněny do spodní základové desky (2) pomocí děr kuželovitěho tvaru, které zajistí maximální kolmost a souosost. V horní části jsou sloupky vedeny pomocí vodícího pouzdra (4), jež je zalisováno do horní základové desky (1). Nástroj má kluzné vedení.



Obr. 39 Princip nástroje

V horní části nástroje se nachází střížníky, které jsou určeny pro vystřížení jednotlivých otvorů. Jedná se o střížník pro náboj kola (5), střížníky pro čtyři montážní díry pro šrouby (6) a střížníky tvarové (7). Dále pak střížnice (8), která kopíruje tvar ozubení a je zmenšena o příslušné tolerance. Kvůli značnému opotřebení je střížnice zalisována ve zděři střížnice (9) s uložením H7/p6. S ní je spojena pomocí kolíků (10) a šroubů (11). V prostoru mezi střížníky a střížnicí se pohybuje vyhazovač ozubení (12). Tomu je společně s vyhazovacím kroužkem (13) pomocí tlačných kolíků (14) umožněn pohyb do horní polohy při vystřihování, a poté se následně tlakem vrátit do původní polohy, přičemž je vysunut výstřižek z otvoru střížnice. Aby neměl výstřižek sklon k lepení na vyhazovač, bylo použito dvou odtlačovacích kolíků (15). Střížníky jsou pevně ukotveny v kotevní desce (16). Kvůli možnému otlacení je nad ní kalená opěrná deska (17).

Obdobně jako horní část je zkonstruována také spodní část nástroje. Rozdíl spočívá v záměně střížníků za vyhazovače. Dále je v přitlačné desce (18) veden střížník s patričnou vůlí, který slouží k vystřížení vnějšího tvaru, tedy ozubení. V tomto střížníku jsou suvně uloženy vyrážecí (19), jež jsou ukotveny pomocí podložky střížníku (20) a vyrážecí lišty (21). Samotný střížník je upevněn na opěrné desce pomocí kolíků (22) a šroubů (23). Vyrážecí lišta je podepřena vyrážecími kolíky (24), aby se zabránilo současnému posuvu střížníku a vyrážecí. Tyto vyrážecí kolíky pracují nezávisle na střížném pohybu a jsou pomocí šroubů zabezpečeny proti vypadnutí. Pohyb střížníku zajišťuje tzn. držák střížníku (25) přes spodní pohon lisu. Aby se docílilo vhodného stavu napjatosti, je jak na přitlačné desce, tak i na střížnici vyhotovena tlačná hrana. K zabránění jejímu poškození slouží výškové dorazy (26), které jsou připevněny pomocí šroubů ke zděři střížnice. Pro snadnější manipulaci s nástrojem jsou na spodní i horní základové desce upevněny čtyři úchytné čepy (27). Vyjímání dílců z nástroje je řešeno ofukem.

3.13 Návrh lisu [30]

Pro výrobu zadané rozety motocyklu je potřeba zvolit vhodný lis, pomocí kterého bude součást zhotovována. Celková síla potřebná pro vystřížení rozety je rovna 9 418,566 kN, a proto je zvolen trojčinný lis pro přesné stříhání s hydraulickým pohonem od výrobce Feintool typu HFA 11000 plus, který je vybavený podávacím i výstupním zařízením. Hlavní technické parametry jsou uvedeny v tab. 9.



Obr. 40 Lis HFA 11000 plus [30]

Tab. 9 Technické parametry lisu Feintool HFA 11000 plus [30]

Technické parametry	HFA 11000 plus
Celková síla [kN]	7 400 – 11 000
Síla přidržovače [kN]	500 – 5 000
Síla vyhazovače [kN]	250 – 2 500
Zdvih beranu [mm]	200 / 305
Počet zdvihů [n/min]	50
Rychlost stříhu [mm/s]	5 – 70
Šířka pásu [mm]	40 – 450
Tloušťka materiálu [mm]	16
Celkový příkon (50 Hz) [kW]	290
Hmotnost [kg]	74 000

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ [32]

Pro vyhodnocení efektivnosti výroby, která je závislá na počtu vyráběných kusů, se využívají ekonomické propočty. Jejich cílem je určení tzv. bodu zvratu, který znázorňuje přechod mezi výrobou ztrátovou a ziskovou. K určení tohoto bodu je potřeba mít přehled o cenách jednotlivých materiálů. Pro zjednodušení výpočtu nejsou uvažovány ceny lisu či tabulových nůžek.

4.1 Technické hodnocení

Lis, který byl vybrán pro výrobu rozety, vyhovuje ve všech ohledech. Z hlediska silových požadavků dokáže vytvořit dostatečně velkou střížnou, přitlačnou i vyhazovací sílu. Dále pomocí tohoto lisu lze stříhat materiály o maximální tloušťce 16 mm a šířce 450 mm. Tloušťka zvoleného materiálu je 6 mm a šířka pásu je 169 mm, tudíž lis také vyhovuje. Navržený nástroj má půdorysné rozměry 360 × 350 mm a výšku v horní poloze 300 mm. Z tohoto hlediska jsou rozměry pro upnutí nástroje dostačující. Produkce výstřižků je závislá na výrobním taktu, který činí 50 kusů za minutu.

4.2 Ekonomické hodnocení

- **náklady na materiál** – velikost výrobní série činí 100 000 ks ročně. Polotovarem pro výrobu rozety jsou tabule plechu o rozměrech (6 × 2000 × 4000), které jsou vyráběny z oceli 11 500. Dodavatelem těchto plechů je firma Feron a.s. Z těchto tabulí se následně na dílně budou jednotlivě vystřihávat pásy plechu o šířce 169 mm, a to vertikálně za pomoci tabulových nůžek.

Hmotnost plechů, které budou zpracovány za rok m_p se vypočte dosazením za hustotu $\rho_{ocel} = 7\,850\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ do následujícího vztahu:

$$m_p = s \cdot \dot{s}_{Tab} \cdot l_{Tab} \cdot \rho_{ocel} \cdot n_{tab} = 0,006 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 7\,850 \cdot 363 = 136\,778,4\text{ kg} \quad (4.1)$$

Cena za 1 kg materiálu je stanovena na 26,87 Kč včetně DPH. Celková cena plechů je tedy spočtena jako:

$$C_p = 26,87 \cdot m_p = 26,87 \cdot 136\,778,4 = 3\,675\,235,61 \cong 3\,675\,236\text{ Kč} \quad (4.2)$$

Celkové množství odpadu na výrobní sérii počítáno se skutečnou plochou součásti, která byla určena pomocí PC programu Autodesk Inventor Professional 2020 na 9 109,828 mm²:

$$m_o = m_p \cdot \left(1 - \frac{E_m}{100}\right) = 136\,778,4 \cdot \left(1 - \frac{31,43}{100}\right) = 93\,778,9\text{ kg} \quad (4.3)$$

Cena odpadu C_o je určena jako 4 Kč/kg a její spočtení závisí na ekonomickém využití materiálu dle vztahu:

$$C_o = m_p \cdot 4 \cdot \left(1 - \frac{E_m}{100}\right) = 136\,778,4 \cdot 4 \cdot \left(1 - \frac{31,43}{100}\right) \cong 375\,156\text{ Kč} \quad (4.4)$$

Celkové náklady na materiál jsou dány vztahem:

$$N_{Cmat} = C_p - C_o = 3\,675\,236 - 375\,156 = 3\,300\,080\text{ Kč} \quad (4.5)$$

- **náklady na výrobu nástroje** – jsou zde zahrnuty ceny použitých materiálů a normalizovaných dílů. Dále jsou zohledněny náklady na mzdy dělníků, jež se podílejí na výrobě i montáži. Ceny jednotlivých materiálů nutné k výrobě nástroje jsou zobrazeny v tab. 10.

Tab. 10 Ceny materiálů nástroje

Třída oceli	Cena za 1 kg	Celková hmotnost	Cena
	[Kč]		[Kč]
11	30	145,706	4 371
14	42	5,766	242
19	170	61,533	10 461
Celková cena [Kč]			15 074

Cena potřebného materiálu na výrobu nástroje tedy činí C_{mat} 15 074 Kč. Dále je nutné připočíst mzdu dělníka, jenž bude daný nástroj vyrábět. Průměrná mzda pracovníka ve výrobě činí přibližně 200 Kč/h a čas výroby je stanoven na 400 Nh. Jednicové mzdy jsou dány vztahem:

$$J_M = 400 \cdot 200 = 80\,000 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

Z jednicových mezd pak vycházejí zpracovatelské náklady Z_N , do kterých jsou zahrnuty: jednicové mzdy – 100%, V_R – výrobní režie 370%, S_R – správní režie 120% a ostatní náklady 10%.

$$Z_N = J_M \cdot 500\% = 80\,000 \cdot 500\% = 400\,000 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

K těmto nákladům je potřeba také započítat i zisk:

$$Z = Z_N \cdot 10\% = 400\,000 \cdot 10\% = 40\,000 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

Celkové náklady potřebné na výrobu nástroje jsou potom:

$$N_{\text{CN}} = C_{\text{mat}} + Z_N + Z = 15\,074 + 400\,000 + 40\,000 = 455\,074 \text{ Kč} \quad (4.9)$$

➤ **bod zvratu** – pro jeho stanovení je nutné rozlišovat dva druhy nákladů. První z nich jsou náklady fixní F_N , které jsou po celou dobu výroby konstantní. Jedná se např. o náklady na strojní vybavení či pronájem výrobní plochy. Při počítání s fixními náklady nebude uvažována pořizovací cena zvoleného lisu, jelikož se předpokládá jeho použití i při výrobě jiných dílců. Druhým typem nákladů jsou pak náklady variabilní, které závisí na produkci. Dále se pak vyhodnocují celkové náklady a tržby.

Náklady na mzdy – byly určeny jako $N_M = 0,8 \text{ Kč/výstřižek}$.

Celkové roční náklady na mzdy a režii N_{CMR} pro objem výroby $Q = 100\,000 \text{ ks/rok}$:

$$N_{\text{CMR}} = N_M \cdot Q \cdot \left(\frac{V_R}{100} + \frac{S_R}{100} \right) = 0,8 \cdot 100\,000 \cdot \left(\frac{370}{100} + \frac{120}{100} \right) = 392\,000 \text{ Kč} \quad (4.10)$$

Materiálové náklady pro jeden výrobek:

$$N_{\text{KSm}} = \frac{N_{\text{Cmat}}}{Q} = \frac{455\,074}{100\,000} \approx 4,55 \text{ Kč} \quad (4.11)$$

Náklady na výrobu jednoho výstřižku (doba životnosti nástroje, $T = 2 \text{ roky}$):

$$N_{\text{KS}} = \frac{T \cdot N_{\text{CMR}} + N_{\text{CN}}}{Q \cdot T} + N_{\text{KSm}} = \frac{2 \cdot 392\,000 + 455\,074}{100\,000 \cdot 2} + 4,55 \approx 39,2 \text{ Kč} \quad (4.12)$$

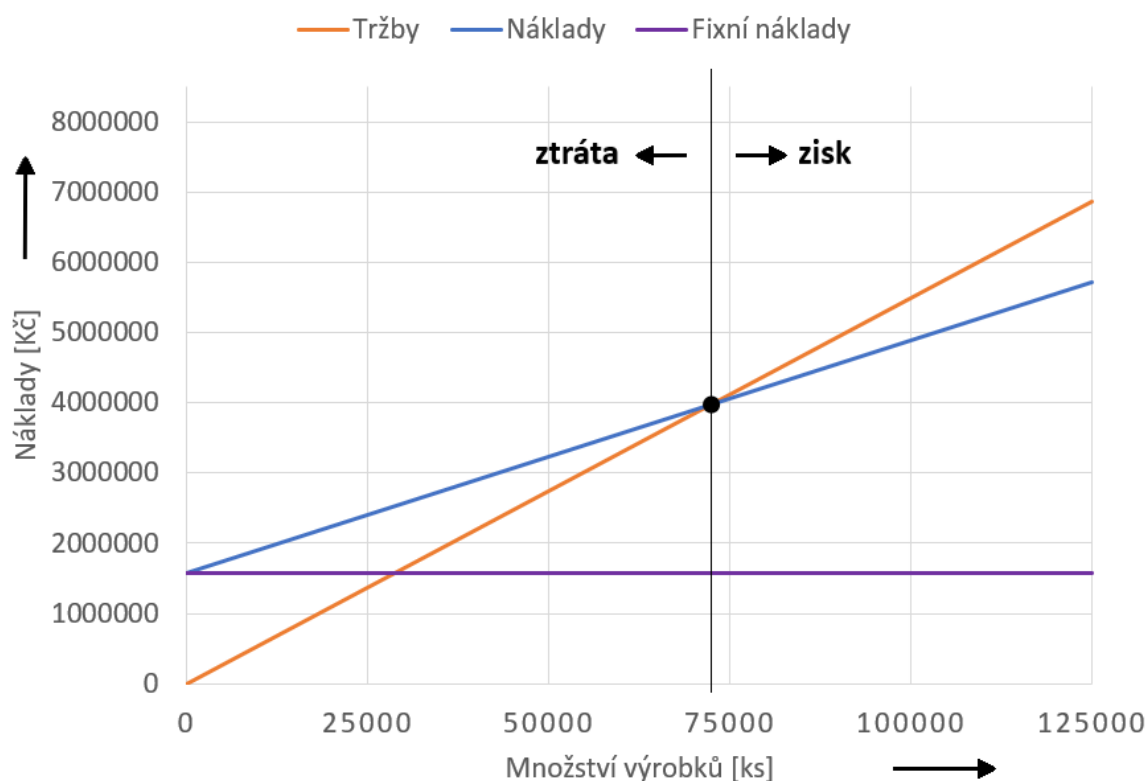
Celková cena výrobku včetně připočteného zisku:

$$N_{CV} = N_{KS} \cdot 1,4 = 39,2 \cdot 1,4 = 54,88 \text{ Kč} \quad (4.13)$$

V konečné fázi lze tedy stanovit bod zvratu, pro který je uvažováno s rovností celkových nákladů a celkových tržeb. Potřebný je také odhad fixních nákladů, jež byl určen na $F_N = 1\,580\,870 \text{ Kč}$:

$$B_{ZVR} = \frac{F_N}{N_{CV} - N_{KSmat}} = \frac{1\,580\,870}{54,88 - 33} = 72\,251,83 \approx 72\,252 \text{ ks} \quad (4.14)$$

Grafické zobrazení bodu zvratu lze vidět na obr. 41.



Obr. 41 Grafické zobrazení bodu zvratu

Z grafického zobrazení i výpočtů je zřejmé, že zadaná výroba rozety bude zisková od 72 252 ks. Při uvažovaném objemu výroby $Q = 100\,000 \text{ ks/rok}$ se daná výroba jeví jako zisková.

Z výše uvedeného tedy plyne, že technologie přesného stříhání s tlačnou hranou pro uvažovanou sérii je efektivní. Vzhledem k tomu, že je součást vyráběna na jednom stroji, dochází k úspoře času nutného pro přesun součástí mezi jednotlivými technologickými pracovišti, úspoře energií i úspoře práce vykonávané obsluhou. Při uvažování této sériovosti výroby je očekáváno, že daná součást nebude vyráběna v menší firmě. Z tohoto důvodu jsou tedy zanedbány některé náklady, mezi které patří např. pořizovací cena lisu či tabulových nůžek.

ZÁVĚRY

Vyráběná rozeta motocyklu slouží k přenosu kroutícího momentu z převodovky na zadní poháněné kolo. Tato součást bude vyráběna z oceli 11 500 o tloušťce 6 mm. Předpokládaná výrobní série činí 100 000 kusů za rok.

Po provedení rozboru součásti a zhodnocení možností výroby se došlo k závěru, že optimální výrobní metodou se jeví technologie přesného stříhání s tlačnou hranou. Na základě tohoto uvážení byl zvolen vhodný polotovar tabule plechu o rozměrech (6 × 2000 × 4000) mm. Tyto tabule plechů budou dodávány firmou Feron a. s. Následně byl proveden návrh nástřihových plánů, ze kterých se pomocí výpočtů stanovil ten nejekonomičtější. Tabule plechu budou tedy děleny vertikálně a šířka pásu vychází na 169 mm.

Podle parametrů zadané rozety byl proveden návrh samotného střižného nástroje. Pro jeho konstrukci bylo nutné provést kontrolní výpočty včetně výpočtu rozměrů střižnice a střižníků. Při konstrukci nástroje se vycházelo z podkladů a směrnic pro přesné stříhání firmy Zbrojovka Brno. Jako typ střižného nástroje byla zvolena varianta s pohyblivým střižníkem a pevnou přítlačnou deskou. Tento nástroj byl zdokumentován pomocí výkresu sestavy, výrobních výkresů veškerých střižníků a výkresu střižnice.

Na základě spočtené velikosti střižné, přidržovací a vyhazovací síly včetně tloušťky stříhaného materiálu byl zvolen trojčinný lis pro přesné stříhání. Celková střižná síla byla stanovena výpočtem na $F_C = 9\,418,566 \text{ kN}$. Z této vypočtené hodnoty byl určen lis od výrobce Feintool typu HFA 11000 plus, který je pro danou výrobu vhodný.

V konečné fázi byla provedena kontrola ziskovosti dané výroby pomocí bodu zvratu. Hodnota tohoto bodu byla stanovena nejprve výpočtem a poté i graficky. Aby byla daná výroba zisková, je nutné překročit hranici vyráběných kusů, která byla stanovena na 72 252 ks. Vzhledem k uvažované výrobní sérii 100 000 ks/rok lze prohlásit, že zvolená technologie výroby bude zisková.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. MORAVEC, Vladimír. *Konstrukce strojů a zařízení II.: čelní ozubená kola: teorie, výpočet, konstrukce, výroba, kontrola*. Ostrava: Montanex, 2001, 291 s. ISBN 80-722-5051-5.
2. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. Brno: VUT v Brně, 2004 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
3. ČADA, Radek. *Technologie tváření a slévání - teoretický základ*. 1. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2013. ISBN 978-80-248-3015-5.
4. Dílce vyráběné přesným stříháním. In: *Www.gma.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.gma.cz/vyrobky>
5. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
6. Detail na rozetu. In: *Www.motorkari.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-04-03]. Dostupné z: <https://www.motorkari.cz/motorka/?mid=96039&act=moto-denik-detail&ddid=51628>
7. Princip řezání. In: *Www.wcm.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://wcm.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem/princip-rezani>
8. Řezání kovů. In: *Www.eluc.kr-olomoucky.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1858>
9. Seriál na téma lasery. In: *Www.lao.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/lao-info-49/serial-na-tema-lasery---laserove-rezani-laser-cutting-129>
10. BIRZER, Franz. *Forming and fineblanking: Cost-effective manufacture of accurate sheetmetal parts*. Landsberg: Moderne Industrie, 1997. ISBN 3-478-93161-4.
11. RODRÍGUEZ, Carlos Julio Cortés. *Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing (Paperback)*. 1. London: Kassel University Press, 2009.
12. NOVOTNÝ, Karel. *Speciální technologie výroby: Část tváření* [online]. Brno: VUT v Brně, 2002 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/opory/esv_specialni_tecnologie_vyroby_novotny_piska.pdf
13. Sheet Metal Cutting (Shearing). In: *Www.custompartnet.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-04-08]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>
14. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Vyd. 5., V Akademickém nakladatelství CERM 3. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013, 169 s. ISBN 978-80-214-4747-9.
15. VOJTĚCH, Dalibor. *Materiály a jejich mezní stavy*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2010, 204 s. ISBN 978-80-7080-741-5.
16. SCHÖNEMANN, Lars a Oltmann RIEMER. Thermo-mechanical tool setting mechanism for ultra-precision milling with multiple cutting edges. *Precision Engineering*. 2019, 55, 171-178. DOI: 10.1016/j.precisioneng.2018.09.003. ISSN 01416359. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0141635918302435>

17. GUIDI, Alfons. *Přistřihování a přesné stříhání*. Praha: SNTL, 1969, 138 s. Řada strojírenské literatury.
18. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
19. MENG LIM, Ee, Chia-Hsiang MENQ a David W. YEN. Integrated planning for precision machining of complex surfaces—III. Compensation of dimensional errors. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 1997, 37(9), 1313-1326. DOI: 10.1016/S0890-6955(95)00111-5. ISSN 08906955. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695595001115>
20. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 213 s.
21. DVOŘÁK, Milan. *Technologie II*. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s. ISBN 80-214-2683-7.
22. BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 113 s. ISBN 80-248-0068-3.
23. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980, 216 s.
24. VYSKOČIL, Oldřich a Pavel BARTOŠ. *Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání*. 1. Brno: Zbrojovka Brno, 1977, 88 s.
25. Technologie plošného tváření - stříhání. In: *Www.ksp.cz* [online]. [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
26. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard BUDYNAS. *Konstruování strojních součástí*. 1. Brno: VUTUM, 2010, 1159 s. ISBN 978-80-214-2629-0.
27. Akademie tváření: Technologičnost konstrukce v návrhu výstřižků. In: *Www.mmspektrum.com* [online]. 2020 [cit. 2020-04-10]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-technologicnost-konstrukce-v-navrhu-vystrizku.html>
28. Konstrukční ocel ČSN 11500. In: *Www.czferrosteel.cz* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://www.czferrosteel.cz/pdf/tyce-11500.pdf>
29. Značení ocelí. In: *Www.online.ferona.cz* [online]. [cit. 2020-04-30]. Dostupné z: <https://online.ferona.cz/znaceni-oceli/?typ=3>
30. Feintool. In: *Feintool* [online]. [cit. 2020-05-10]. Dostupné z: <https://www.feintool.com/en/products-and-services/complete-press-systems/press-configurator/hfaplu-series/>
31. Výroba ozubených kol obrážením. In: <http://mlgeardesigns.blog.cz/> [online]. [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <http://mlgeardesigns.blog.cz/1310/vyroba-ozubenych-kol-obrazenim>
32. Bod zvratu. In: *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Bod_zvratu
33. STŘIHADLA A STŘIŽNÉ VŮLE: *Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu	[mm]
a ₁	Vzdálenost kruhového otvoru od okraje	[mm]
A	Tažnost	[%]
A _C	Celková práce	[J]
A _P	Práce přidržovače	[J]
A _S	Střížná práce	[J]
A _V	Práce vyhazovače	[J]
b	Šířka zářezu	[mm]
b ₁	Vzdálenost čtvercového otvoru od okraje	[mm]
B _{TK}	Potřebný počet tlačných kolíků	[ks]
B _{VK}	Potřebný počet vyřazecích kolíků	[ks]
B _{ZVR}	Bod zvratu	[ks]
c ₁	Vzdálenost kruhového otvoru od zaobleného okraje	[mm]
c _m	Součinitel závislý na druhu stříhání	[-]
C _{mat}	Cena materiálu	[Kč]
C _O	Cena odpadu	[Kč]
C _P	Cena plechů	[Kč]
d	Průměr stříhaného otvoru	[mm]
d _s	Průměr kontrolovaného střížníku	[mm]
d _{pce}	Výpočet jmenovitého rozměru střížnice při děrování	[mm]
d _{pk}	Výpočet jmenovitého rozměru střížníku při děrování	[mm]
d _{TK}	Průměr tlačného kolíku	[mm]
d _{VK}	Průměr vyřazecího kolíku	[mm]
D ₀	Vnitřní průměr střížnice	[mm]
D ₁	Vnější průměr střížnice	[mm]
D _j	Jmenovitý rozměr výstřížku	[mm]
D _{pce}	Výpočet jmenovitého rozměru střížnice při vystřihování	[mm]
D _{pk}	Výpočet jmenovitého rozměru střížníku při vystřihování	[mm]
E	Velikost můstku	[mm]
E _m	Modul pružnosti v tahu	[MPa]
E _v	Ekonomické využití materiálu	[%]
F	Velikost postranního odpadu	[mm]
F _C	Celková síla	[kN]
F _N	Fixní náklady	[Kč]
F _P	Síla na přidržovači	[kN]
F _S	Střížná síla	[kN]
F _{S8}	Střížná síla kontrolovaného průměru 8 mm	[kN]
F _{S10}	Střížná síla kontrolovaného průměru 10 mm	[kN]
F _{smax}	Maximální hodnota střížné síly	[kN]
F _V	Síla vyhazovače	[kN]
h	Výška tlačné hrany	[mm]
h ₁	Výška odlehčení za tlačnou hranou	[mm]
H	Výška střížnice	[mm]
I	Moment setrvačnosti	[mm ⁴]
IT	Stupeň přesnosti	[-]
J _M	Jednicové mzdy	[Kč]
k _m	Odpor materiálu proti vtlačení tlačné hrany	[MPa]

Označení	Legenda	Jednotka
K	Krok	[mm]
l	Délka křivky stříhu	[mm]
l_{krit}	Kritická délka střížníku	[mm]
l_p	Délka pásu plechu	[mm]
L_h	Délka tlačné hrany	[mm]
m_o	Hmotnost odpadu	[kg]
m_p	Hmotnost plechů	[kg]
n	Součinitel otupení nože	[-]
n_{DP}	Počet dílů na pás	[ks]
n_{DTab}	Počet dílů z jedné tabule	[ks]
n_{PTab}	Počet pásů z jedné tabule	[ks]
n_s	Počet výstřižků ze svitku plechu	[ks]
n_t	Počet výstřižků z tabule plechu	[ks]
n_{Tab}	Potřebný počet tabulí	[ks]
N_{Cmat}	Celkové náklady na material	[Kč]
N_{CMR}	Celkové roční náklady na mzdy a režii	[Kč]
N_{CN}	Celkové náklady na výrobu nástroje	[Kč]
N_{CV}	Celková cena výrobku včetně připočteného zisku	[Kč]
N_{KS}	Náklady na výrobu jednoho výrobku	[Kč]
N_{KSmat}	Materiálové náklady na jeden výrobek	[Kč]
N_M	Náklady na mzdy	[Kč]
p	Měrný tlak	[MPa]
R	Poloměr zaoblení střížné hrany	[mm]
R_1	Minimální vnější poloměr	[mm]
R_a	Drsnost povrchu	[μm]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
R_{mo}	Mez pevnosti v ohybu	[MPa]
s	Tloušťka stříhaného materiálu	[mm]
S_{DTab}	Plocha dílů z jedné tabule	[mm ²]
S_P	Plocha působení síly přitlačné desky	[mm ²]
S_{S8}	Průřez střížníku průměru 8 mm	[mm ²]
S_{S10}	Průřez střížníku průměru 10 mm	[mm ²]
S_{Tab}	Plocha tabule plechu	[mm ²]
S_{TK}	Průřez tlačného kolíku	[mm ²]
S_V	Plocha výstřižku	[mm ²]
S_{VK}	Průřez vyřezacího kolíku	[mm ²]
S_{VY}	Plocha působení síly vyhazovače	[mm ²]
\bar{s}_p	Šířka pásu	[mm]
\bar{s}_{Tab}	Šířka tabule	[mm]
v	Střížná vůle	[mm]
W_1	Minimální vzdálenost mezi dvěma otvory	[mm]
W_2	Minimální vzdálenost mezi drážkou a otvorem	[mm]
z	Střížná mezera	[mm]
z_{min}	Minimální střížná mezera	[mm]
Z	Zisk	[Kč]
Z_N	Zpracovatelské náklady	[Kč]

Označení	Legenda	Jednotka
Δ	Tolerance výstřížku	[mm]
α	Vrcholový úhel přidržovače	[°]
δ_{pce}	Tolerance střížnice	[mm]
δ_{pk}	Tolerance střížníku	[mm]
η_{sv}	Využitelnosti svitku plechu	[%]
η_t	Využitelnosti tabule plechu	[%]
λ_0	Součinitel plnosti diagramu $F_s - s$	[-]
μ	Koeficient bezpečnosti	[-]
σ	Napětí v tlaku	[MPa]
σ_{DOV}	Dovolené ohybové namáhání	[MPa]
σ_n	Normálové napětí	[MPa]
σ_O	Dovolené napětí pro otláčení střížníku	[MPa]
σ_{PS}	Dovolené napětí pevnosti střížníku	[MPa]
τ_s	Střížný odpor	[MPa]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady výrobků vyráběných metodou přesného stříhání	9
Obr. 2 Rozeta motocyklu	10
Obr. 3 Schéma řezání vodním paprskem	11
Obr. 4 Schéma řezání plazmou	12
Obr. 5 Schéma řezání laserem	12
Obr. 6 Obrázení kotoučovým nožem	13
Obr. 7 Způsoby přistřihování	14
Obr. 8 Stříhání se zaoblenou hranou	15
Obr. 9 Schéma kalibrování	15
Obr. 10 Schéma stříhání se zkoseným přidržovačem	16
Obr. 11 Schéma přesného stříhání s tlačnou hranou	16
Obr. 12 Postup přesného stříhání s tlačnou hranou	17
Obr. 13 Schéma napjatosti při přesném stříhání	18
Obr. 14 Síly působící při přesném stříhání s tlačnou hranou	18
Obr. 15 Schéma střížné vůle	20
Obr. 16 Rozměry a tvar tlačné hrany	22
Obr. 17 Ukázka nástřihového plánu	24
Obr. 18 Umístění otvorů na výstřižku	25
Obr. 19 Diagram pro optimalizaci velikosti poloměru hran a rohů	25
Obr. 20 Diagram pro určení minimální vzdálenosti mezi drážkami a otvory	26
Obr. 21 Vada odtržený okraj	26
Obr. 22 Vada velký otřep	27
Obr. 23 Vada kuželovitost střížnice	27
Obr. 24 Vada velký poloměr	27
Obr. 25 Vada vypouklá plocha	27
Obr. 26 Vada zkroucený výstřižek	27
Obr. 27 Model rozety	28
Obr. 28 Závislost vzdálenosti a velikosti otvorů na tloušťce materiálu	28
Obr. 29 Základní rozměry součásti	28
Obr. 30 Znázornění můstku a postranního odpadu	29
Obr. 31 Nástřihový plán	29
Obr. 32 Vlevo – horizontální dělení tabule, vpravo – vertikální dělení tabule	30
Obr. 33 Tlačné hrany	32
Obr. 34 Poloha tlačné hrany	32
Obr. 35 Určení rozměrů střížníků a střížnice při vystřihování	34
Obr. 36 Funkční rozměry střížnice a střížníku – výrobkem je výstřižek	35
Obr. 37 Určení rozměrů střížníků a střížnice při děrování	36
Obr. 38 Funkční rozměry střížnice a střížníku – výrobkem je otvor	37
Obr. 39 Princip nástroje	40
Obr. 40 Lis HFA 11000 plus	41
Obr. 41 Grafické zobrazení bodu zvratu	44

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Orientační srovnání se zahraničními normami.....	10
Tab. 2 Chemické složení oceli 11 500 v hm. %	10
Tab. 3 Mechanické vlastnosti oceli 11 500	11
Tab. 4 Stanovení střížné vůle	21
Tab. 5 Hodnoty rozměrů tlačné hrany	22
Tab. 6 Velikost můstku a postranního odpadu	29
Tab. 7 Ekonomické využití – tabule stříhány podél	30
Tab. 8 Ekonomické využití – tabule stříhány napříč	31
Tab. 9 Technické parametry lisu Feintool HFA 11000 plus	41
Tab. 10 Ceny materiálů nástroje.....	43

SEZNAM VÝKRESŮ

Rozeta motocyklu	2020_BP_01
Sestava střižného nástroje	2020_BP_02
Střižnice	2020_BP_03
Střižník ozubení	2020_BP_04
Střižník Ø52	2020_BP_05
Střižník Ø8	2020_BP_06
Střižník tvarový	2020_BP_07